

**T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
İŞLETME ENSTİTÜSÜ**

**İÇ LOJİSTİK MALİYETLERİNİ MİNİMİZE ETMEYE  
YÖNELİK İKİ AŞAMALI OPTİMİZASYON MODELİ  
ÖNERİSİ**

**DOKTORA TEZİ**

**Şengül COŞKUN  
ORCID: 0000-0002-1185-7195**

**Enstitü Anabilim Dalı: İşletme  
Enstitü Bilim Dalı : Üretim Yönetimi ve Pazarlama**

**Tez Danışmanı: Doç.Dr.Kamil TAŞKIN  
ORCID: 0000-0002-8081-7445**

**MAYIS - 2025**

Şengül COŞKUN tarafından hazırlanan “İç Lojistik Maliyetlerini Minimize Etmeye Yönelik İki Aşamalı Optimizasyon Modeli Önerisi” başlıklı bu tez, 07/03/2025 tarihinde Sakarya Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili maddeleri uyarınca yapılan Tez Savunma Sınavı sonucunda başarılı bulunarak, jürimiz tarafından Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

**Danışman:** Doç. Dr. Kamil TAŞKIN

*Sakarya Üniversitesi*

**Jüri Üyeleri:** Prof. Dr. Samet GÜNER

*Sakarya Üniversitesi*

Prof. Dr. Hakan Murat ARSLAN

*Düzce Üniversitesi*

Doç. Dr. Halil İbrahim CEBECİ

*Sakarya Üniversitesi*

Dr. Öğr. Gör. Mustafa YILMAZ

*Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi*

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                           |                                                                                           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| <br><b>SAKARYA</b><br>ÜNİVERSİTESİ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <b>T.C.</b><br><b>SAKARYA ÜNİVERSİTESİ</b><br><b>İŞLETME ENSTİTÜSÜ</b><br><b>TEZ SAVUNULABİLİRLİK VE ORJİNALLİK</b><br><b>BEYAN FORMU</b> | Sayfa: 1/1                                                                                |
| Öğrencinin                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                           |                                                                                           |
| Adı Soyadı                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | :                                                                                                                                         | ŞENGÜL COŞKUN                                                                             |
| Öğrenci Numarası                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | :                                                                                                                                         | D176004006                                                                                |
| Enstitü Anabilim Dalı                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | :                                                                                                                                         | İŞLETME                                                                                   |
| Enstitü Bilim Dalı                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | :                                                                                                                                         | ÜRETİM YÖNETİMİ VE PAZARLAMA                                                              |
| Programı                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | :                                                                                                                                         | DOKTORA                                                                                   |
| Tezin Başlığı                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | :                                                                                                                                         | İÇ LOJİSTİK MALİYETLERİNİ MİNİMİZE ETMEYE YÖNELİK İKİ AŞAMALI OPTİMİZASYON MODELİ ÖNERİSİ |
| Benzerlik Oranı                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | :                                                                                                                                         | % 3                                                                                       |
| <p>Sakarya Üniversitesi İşletme Enstitüsü Lisansüstü Tez Çalışması Benzerlik Raporu Uygulama Esaslarını inceledim. Enstitünüz tarafından Uygulama Esasları çerçevesinde alınan Benzerlik Raporuna göre yukarıda bilgileri verilen tez çalışmasının benzerlik oranının herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.</p> <p>16 / 05 / 2025<br/>İmza<br/>Öğrenci</p>           |                                                                                                                                           |                                                                                           |
| <p>Sakarya Üniversitesi İşletme Enstitüsü Lisansüstü Tez Çalışması Benzerlik Raporu Uygulama Esaslarını inceledim. Enstitünüz tarafından Uygulama Esasları çerçevesinde alınan Benzerlik Raporuna göre yukarıda bilgileri verilen öğrenciye ait tez çalışması ile ilgili gerekli düzenleme tarafımda yapılmış olup, yeniden değerlendirilmek üzere gsbttez@sakarya.edu.tr adresine yüklenmiştir.</p> <p>Bilgilerinize arz ederim.</p> <p>16 / 05 / 2025<br/>İmza<br/>Danışman</p> |                                                                                                                                           |                                                                                           |
| <p><b>Uygundur</b></p> <p>Danışman<br/>Unvanı / Adı-Soyadı:</p> <p>Tarih: 16 / 05 / 2025</p> <p>İmza:</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                           |                                                                                           |
| <input type="checkbox"/> Kabul Edilmiştir<br><input type="checkbox"/> Reddedilmiştir                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | <b>Enstitü Birim Sorumlusu Onayı</b>                                                                                                      |                                                                                           |
| EYK Tarih ve No: ..... / ..... / 20..... / .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                           |                                                                                           |

## ÖNSÖZ

“İç Lojistik Maliyetlerinin Azaltılmasına Yönelik İki Aşamalı Depo Optimizasyon Modeli Önerisi” başlıklı doktora tezimin hazırlanma sürecinde, çalışmamı büyük bir titizlikle takip eden ve her aşamada bilgi ve tecrübesiyle bana yol gösteren değerli danışman hocam Doç. Dr. Kamil TAŞKIN’a en içten teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım. Tezimin hazırlanmasında fikirleri ve destekleriyle sürece önemli katkılar sağlayan Prof. Dr. Fuat SEKMEN’e, çalışmam sırasında karşılaştığım zorluklarda yol gösterici olan Prof. Dr. Erman COŞKUN’a teşekkür ederim. Ayrıca tez savunma jürisinde yer alarak görüş ve önerileriyle çalışmama katkıda bulunan Doç. Dr. H.İbrahim CEBECİ’ye ve Prof. Dr. Samet GÜNER’e şükranlarımı sunarım. Her zaman yanımda olarak, fedakârlıkları ve destekleriyle bugünlere gelmemi sağlayan değerli aileme sonsuz teşekkürlerimi sunmak isterim.

**Şengül COŞKUN**

**07.03.2025**

## İÇİNDEKİLER

|                                                                                                           |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| KISALTMALAR .....                                                                                         | iii       |
| TABLolar .....                                                                                            | iv        |
| ŞEKİLLER .....                                                                                            | vi        |
| ÖZET.....                                                                                                 | vii       |
| ABSTRACT .....                                                                                            | viii      |
| <br>                                                                                                      |           |
| GİRİŞ .....                                                                                               | 1         |
| <b>BÖLÜM 1. DEPO YÖNETİMİ VE MALZEME YERLEŞİMİNDE<br/>OPTİMİZASYON YAKLAŞIMLARI.....</b>                  | <b>8</b>  |
| 1.1. Depo Yönetimi ve Depo Operasyonları .....                                                            | 8         |
| 1.2. Depo İç Lojistik ve Malzeme Taşıma Süreçleri .....                                                   | 10        |
| 1.3. Lojistik Yönetiminin Temel Unsurları .....                                                           | 13        |
| 1.4. Araç Seçimi ve Atama Problemleri .....                                                               | 15        |
| 1.5. Depo Optimizasyonu ve Araç Seçimi İçin Literatürde Kullanılan<br>Yöntemler ve Değerlendirmeler ..... | 18        |
| 1.5.1. Depo İç Yerleşim ve Sipariş Toplama Optimizasyonu.....                                             | 18        |
| 1.5.2. Araç Seçimi ve Taşıma Rotalarının Planlanması.....                                                 | 19        |
| 1.5.3. Bütünleşik Depo ve Taşıma Sistemleri .....                                                         | 20        |
| 1.6. Literatürdeki Boşluklar ve Bu Çalışmanın Katkıları.....                                              | 22        |
| 1.6.1. Literatürdeki Boşluklar .....                                                                      | 22        |
| 1.6.2. Çalışmanın Katkıları .....                                                                         | 23        |
| <b>BÖLÜM 2.YÖNTEM VE ARAŞTIRMA MODELİ.....</b>                                                            | <b>25</b> |
| 2.1. Problem Tanımı .....                                                                                 | 27        |
| 2.1.1. Problemin Kapsamı ve Sınırlılıklar.....                                                            | 28        |
| 2.1.2. Mevcut Durum Analizi.....                                                                          | 28        |
| 2.2. Veri Toplama.....                                                                                    | 31        |
| 2.2.1. Lokasyon Bilgileri.....                                                                            | 31        |
| 2.2.2. İmalat Atölyelerinin ve Montaj Hattının Talep Miktarları.....                                      | 32        |
| 2.2.3. Taşıt Kapasiteleri.....                                                                            | 33        |
| 2.2.4. Taşıt Enerji Tüketim Değerleri ve Birim Maliyet Verileri .....                                     | 34        |
| 2.3. Matematiksel Model.....                                                                              | 35        |
| 2.3.1. Depo Slotlama Matematiksel Modeli.....                                                             | 36        |
| 2.3.1.1. Dengeli Depo Slotlama Modeli .....                                                               | 37        |
| 2.3.1.2. Kısmen Esnek Depo Slotlama Modeli.....                                                           | 47        |

|                                                               |            |
|---------------------------------------------------------------|------------|
| 2.3.1.3. Esnek Depo Slotlama Modeli .....                     | 51         |
| 2.3.2. Taşıt Seçimi Matematiksel Modeli .....                 | 55         |
| 2.3.2.1. Dengeli Taşıt Modeli .....                           | 56         |
| 2.3.2.2. Kısmen Esnek Taşıt Modeli.....                       | 62         |
| 2.3.2.3. Esnek Taşıt Modeli .....                             | 64         |
| 2.4. Senaryo Tasarımı ve Geliştirilmesi .....                 | 66         |
| 2.4.1. Depo Slotlama Modeli Senaryoları .....                 | 67         |
| 2.4.1.1. Dengeli Depo Slotlama Senaryosu (KD).....            | 67         |
| 2.4.1.2. Kısmen Esnek Depo Slotlama Senaryosu(KE1)<br>.....   | 67         |
| 2.4.1.3. Esnek Depo Slotlama Senaryosu (KE2) .....            | 67         |
| 2.4.2. Taşıt Seçimi Modeli Senaryoları.....                   | 67         |
| 2.4.2.1. Dengeli Taşıt Seçim Senaryosu (KDT) .....            | 68         |
| 2.4.2.2. Kısmen Esnek Taşıt Seçim Senaryosu (KE1T) .          | 68         |
| 2.4.2.3. Esnek Taşıt Seçim Senaryosu (KE2T) .....             | 68         |
| 2.5. Bulguların Değerlendirilmesi .....                       | 68         |
| <b>BÖLÜM 3.UYGULAMA VE BULGULAR .....</b>                     | <b>70</b>  |
| 3.1. Uygulama Yapılan İşletmenin Tanıtımı .....               | 70         |
| 3.2. Depo Yerleşimi ve Dağıtım Modelinin Uygulanması.....     | 71         |
| 3.2.1. Uygulama Öncesi Veri Hazırlığı ve Lokasyon Yapısı..... | 71         |
| 3.2.2. Depo Slotlama Modelinin Uygulanması .....              | 78         |
| 3.2.3. Taşıma Modeli ve Araç Tipi Seçimi .....                | 79         |
| 3.3. Farklı Senaryolar ile Modelin Test Edilmesi .....        | 81         |
| 3.4. Bulgular .....                                           | 83         |
| 3.4.1. Mesafe İyileştirmeleri .....                           | 83         |
| 3.4.2. Taşıma Maliyeti İyileştirmeleri.....                   | 95         |
| 3.4.3. Yüzdesel İyileştirme Analizleri.....                   | 101        |
| <b>SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>                                 | <b>107</b> |
| <b>KAYNAKÇA .....</b>                                         | <b>110</b> |
| <b>EKLER.....</b>                                             | <b>116</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>                                          | <b>138</b> |

## KISALTMALAR

|             |                                                     |
|-------------|-----------------------------------------------------|
| <b>AK1</b>  | : Atölye Kapısı 1                                   |
| <b>AK2</b>  | : Atölye Kapısı 2                                   |
| <b>AK3</b>  | : Atölye Kapısı 3                                   |
| <b>AK4</b>  | : Atölye Kapısı 4                                   |
| <b>AK5</b>  | : Atölye Kapısı 5                                   |
| <b>D</b>    | : Dengeli                                           |
| <b>DK1</b>  | : Depo Kapısı 1                                     |
| <b>DK2</b>  | : Depo Kapısı 2                                     |
| <b>DK3</b>  | : Depo Kapısı 3                                     |
| <b>E1</b>   | : Kısmen Esnek                                      |
| <b>E2</b>   | : Esnek                                             |
| <b>F</b>    | : Forklift                                          |
| <b>K</b>    | : Kapıdan Dağıtım                                   |
| <b>KD</b>   | : Kapıdan Dağıtım Dengeli Depo Slotlama Modeli      |
| <b>KDT</b>  | : Kapıdan Dağıtım Dengeli Taşıt Seçimi Modeli       |
| <b>KE1</b>  | : Kapıdan Dağıtım Kısmen Esnek Depo Slotlama Modeli |
| <b>KE1T</b> | : Kapıdan Dağıtım Kısmen Esnek Taşıt Seçimi Modeli  |
| <b>KE2</b>  | : Kapıdan Dağıtım Esnek Depo Slotlama Modeli        |
| <b>KE2T</b> | : Kapıdan Dağıtım Esnek Taşıt Seçimi Modeli         |
| <b>MK1</b>  | : Montaj Kapısı 1                                   |
| <b>MK2</b>  | : Montaj Kapısı 2                                   |
| <b>MTA</b>  | : Malzeme Taşıma Arabası                            |
| <b>R</b>    | : Raftan Dağıtım                                    |
| <b>RD</b>   | : Raftan Dağıtım Dengeli Depo Slotlama Modeli       |
| <b>RDT</b>  | : Raftan Dağıtım Dengeli Taşıt Seçimi Modeli        |
| <b>RE1</b>  | : Raftan Dağıtım Kısmen Esnek Depo Slotlama Modeli  |
| <b>RE1T</b> | : Raftan Dağıtım Kısmen Esnek Taşıt Seçimi Modeli   |
| <b>RE2</b>  | : Raftan Dağıtım Esnek Depo Slotlama Modeli         |
| <b>RE2T</b> | : Raftan Dağıtım Esnek Taşıt Seçimi Modeli          |
| <b>T</b>    | : Transpalet                                        |

## TABLÖLAR

|                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tablo 1:</b> Lokasyon Bilgileri .....                                                                      | 32 |
| <b>Tablo 2:</b> İmalat Atölyelerinin ve Montaj Hattının Talep Miktarları .....                                | 33 |
| <b>Tablo 3:</b> Taşıt Enerji Tüketimi Tablosu .....                                                           | 34 |
| <b>Tablo 4:</b> Taşıma Aracı Birim Maliyet Verileri Tablosu.....                                              | 35 |
| <b>Tablo 5:</b> Depo İçindeki Raf Tipleri .....                                                               | 38 |
| <b>Tablo 6:</b> Dengeli Depo Slotlama Modeli İçin Örnek Raf-Kapı Atama Matrisi .....                          | 40 |
| <b>Tablo 7:</b> Kısmen Esnek Depo Slotlama Modeli İçin Örnek Raf-Kapı Atama Matrisi.....                      | 47 |
| <b>Tablo 8:</b> Esnek Depo Slotlama Modeli İçin Örnek Raf-Kapı Atama Matrisi.....                             | 52 |
| <b>Tablo 9:</b> Taşıt Tiplerinin Hammaddelere Göre Dağılımı.....                                              | 56 |
| <b>Tablo 10:</b> Dengeli Taşıt Modeli Raf Yerleşimine Göre Hammaddelerin Dağılımı .....                       | 58 |
| <b>Tablo 11:</b> Dengeli Taşıt Modeli İçin Örnek Raf Yerleşimine Göre Hammaddelerin Dağılım Matrisi .....     | 59 |
| <b>Tablo 12:</b> Kısmen Esnek Taşıt Modeli Raf Yerleşimine Göre Hammaddelerin Dağılımı .....                  | 62 |
| <b>Tablo 13:</b> Kısmen Esnek Taşıt Modeli İçin Örnek Raf Yerleşimine Göre Hammaddelerin Dağılım Matrisi..... | 62 |
| <b>Tablo 14:</b> Esnek Taşıt Modeli Raf Yerleşimine Göre Hammaddelerin Dağılımı.....                          | 64 |
| <b>Tablo 15:</b> Esnek Taşıt Modeli İçin Örnek Raf Yerleşimine Göre Hammaddelerin Dağılım Matrisi .....       | 65 |
| <b>Tablo 16:</b> Lokasyon Kapıları Koordinatları .....                                                        | 72 |
| <b>Tablo 17:</b> Lokasyon, Malzeme ve Talep ile İlgili Değişkenler ve Kodları.....                            | 74 |
| <b>Tablo 18:</b> Depo Kapıları ve Atölyeler/Montaj Hatları Arası Uzaklıklar Matrisi.....                      | 75 |
| <b>Tablo 19:</b> 1.Grup Kapıdan Atölyeye Dağıtım Uzaklıklar Matrisi .....                                     | 75 |
| <b>Tablo 20:</b> 1.Grup Raftan Atölyeye Dağıtım Uzaklıklar Matrisi .....                                      | 76 |
| <b>Tablo 21:</b> 2.Grup Kapıdan Montaja Dağıtım Uzaklıklar Matrisi.....                                       | 76 |
| <b>Tablo 22:</b> Senaryolar ve Model Varyantları.....                                                         | 82 |
| <b>Tablo 23:</b> Hammaddelerin Taşınacağı Lokasyon Kapıları ve Stok Miktarları .....                          | 84 |
| <b>Tablo 24:</b> Model Esnekliğine Göre Kapıdan Dağıtımla Taşınan Hammadde Miktarları .....                   | 85 |
| <b>Tablo 25:</b> Model Esnekliğine Göre Raftan Dağıtımla Taşınan Hammadde Miktarları ..                       | 86 |
| <b>Tablo 26:</b> Model Esnekliğine Göre Tek Rafta Stoklanan Hammaddelerin Kapıdan Dağıtım Tablosu .....       | 88 |

## TABLolar DEVAMI

|                                                                                                                 |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Tablo 27:</b> Model Esnekliğine Göre Tek Rafta Stoklanan Hammaddelerin Raftan Dağıtım Tablosu .....          | 89  |
| <b>Tablo 28:</b> Model Esnekliğine Göre Birden Fazla Rafta Stoklanan Hammaddelerin Kapıdan Dağıtım Tablosu..... | 90  |
| <b>Tablo 29:</b> Model Esnekliğine Göre Birden Fazla Rafta Stoklanan Hammaddelerin Raftan Dağıtım Tablosu ..... | 91  |
| <b>Tablo 30:</b> Model Esnekliğine Göre Kapıdan Dağıtımla Taşınan Hammadde Tipleri....                          | 93  |
| <b>Tablo 31:</b> Model Esnekliğine Göre Raftan Dağıtımla Taşınan Hammadde Tipleri .....                         | 94  |
| <b>Tablo 32:</b> Depo Slotlama Modeli Varyantlarının Esneklik Seviyelerine Göre Toplam Taşıma Mesafeleri .....  | 95  |
| <b>Tablo 33:</b> Taşıt Seçimi Modellerine Göre Taşıt Tipi Kapasite Dağılımı Tablosu .....                       | 97  |
| <b>Tablo 34:</b> Taşıt Seçimi Modellerindeki Raf Bölmelerine Göre Taşıt Tiplerinin Kullanımı Tablosu .....      | 98  |
| <b>Tablo 35:</b> Depo Slotlama Modeli Varyantları Arasındaki İlişki ve Mesafe Bilgileri ..                      | 100 |
| <b>Tablo 36:</b> Taşıt Seçimi Modeli Varyantlarının Esneklik Seviyelerine Göre Toplam Taşıma Mesafeleri.....    | 100 |
| <b>Tablo 37:</b> Senaryolar ve Model Varyantlarına Ait Mesafe ve Maliyet Analizi Tablosu .....                  | 102 |
| <b>Tablo 38:</b> Depolama Slotlama Modelleri Yüzdesel İyileştirme Tablosu.....                                  | 104 |
| <b>Tablo 39:</b> Taşıt Seçimi Modelleri Yüzdesel İyileştirme Tablosu .....                                      | 105 |

## ŞEKİLLER

|                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 1: Araştırma Modeli .....                                      | 27 |
| Şekil 2: Malzeme Akışı .....                                         | 29 |
| Şekil 3: Taşıma Diyagramı .....                                      | 30 |
| Şekil 4: Taşıma İçin Kullanılan Taşıt Tipleri .....                  | 34 |
| Şekil 5: Raf Adresleme Öncesindeki Boş Raf Görünümü.....             | 39 |
| Şekil 6: Dengeli Depo Slotlama Modeli Örnek Raf Yerleşimi .....      | 39 |
| Şekil 7: Kısmen Esnek Depo Slotlama Modeli Örnek Raf Yerleşimi ..... | 47 |
| Şekil 8: Esnek Depo Slotlama Modeli Örnek Raf Yerleşimi .....        | 51 |
| Şekil 9: Tesis İçi Yerleşim Planı .....                              | 72 |
| Şekil 10: Depo İçi Raf Yerleşim Planı .....                          | 73 |

## ÖZET

Coşkun, Ş. (2025). *İç lojistik maliyetlerini minimize etmeye yönelik iki aşamalı optimizasyon modeli önerisi* (Doktora Tezi). Sakarya Üniversitesi.

Günümüzün rekabetçi üretim ortamında, şirketlerin sürdürülebilir başarıya ulaşabilmeleri üretim teknolojilerinin geliştirilmesinin yanında lojistik süreçlerinin etkin yönetilmesine de bağlıdır. Bu tez çalışmasında, üretim işletmelerinin iç lojistik süreçlerinde ortaya çıkan maliyet, zaman ve enerji verimliliği sorunlarının çözümüne yönelik bütüncül bir optimizasyon modeli geliştirilmiştir. Çalışmada, iç lojistiğin iki temel unsuru olan depo yerleşimi ve araç seçimi kararları entegre edilerek, parçalı çözüm yaklaşımlarına alternatif bütüncül bir model önerilmiştir. Literatürde bu iki karar alma alanı genellikle birbirinden bağımsız ve sabit parametrelerle ele alınmaktadır; Bu, gerçek üretim ortamlarındaki karmaşık yapıyı yansıtmak için yeterli değildir. Önerilen model değişen koşullara uyum sağlayabilen esnek ve çok kriterli bir yapı olarak tasarlanmıştır. Taşıma süresi, mesafe, enerji tüketimi, maliyet ve işgücü kullanımı gibi birden fazla performans kriterinin modelin karar yapısına entegre edilmesiyle kapsamlı bir değerlendirme çerçevesi oluşturulmuştur. Böylelikle geliştirilen sistem, akademik açıdan modellemenin özgün bir örneği olmasının yanı sıra, imalat sektöründe uygulanabilirliği yüksek bir çözüm sunmakta ve karar vericilere yol gösterici niteliktedir.

Modelin ilk aşamasını oluşturan depo slotlama modeli, malzemelerin ilgili üretim ve montaj alanlarına taşıma mesafelerini en aza indirecek şekilde depo içerisinde en uygun şekilde yerleştirilmesini amaçlamaktadır. Bu aşamadaki temel hedef, malzeme akışını kolaylaştırmak, depo içindeki taşıma rotalarını optimize etmek ve depo alanındaki operasyonel karmaşıklığı azaltarak sistemin genel verimliliğini artırmaktır. Raf yerleşim kararları, malzemelerin talep edildiği üretim lokasyonlarına olan fiziksel uzaklıkları, rafların ve kapı bağlantılarının güncel doluluk durumları gibi pek çok parametre göz önünde bulundurularak verilir; Böylece taşıma süresi ve işçilik ihtiyacı en aza indirilmektedir. Bu model, depo içindeki malzeme hareketlerinin daha öngörülebilir, düzenli ve stratejik olmasını sağlamaktadır.

İkinci aşama olan araç seçim modeli, birinci aşamada belirlenen raf yerleşim yapısına uygun olarak üretim ve montaj sahalarında gerçekleştirilecek taşıma operasyonlarında hangi aracın kullanılacağına karar verilmesini amaçlamaktadır. Bu model forklift, transpalet ve malzeme taşıma arabası gibi çeşitli taşıma araçlarını içermektedir; Yük kapasitesi, enerji tüketimi, taşıma hızı, işçilik maliyetleri, hammadde ve taşıma araçlarının uyumluluğu gibi hususlar çok kriterli performans kriterleri dikkate alınarak değerlendirilmektedir. Bu sayede her taşıma görevi için en uygun araç tipi seçilerek hem enerji verimliliği sağlanmakta hem de genel maliyetler düşürülmektedir. Her iki modül de doğrusal programlama yöntemleri kullanılarak matematiksel olarak yapılandırılmış ve birbirini besleyecek şekilde entegre edilmiştir. Bu yapı, kararların sistem çapında bir yaklaşımla alınmasını sağlayarak, sadece yerel düzeyde değil, küresel düzeyde de verimliliğin sağlanmasını güvence altına almaktadır.

Çalışmanın uygulama aşamasında, Sakarya ilinde faaliyet gösteren ve üretim sahasında entegre süreçlerle çalışan orta ölçekli bir imalat işletmesinden elde edilen gerçek saha verileri kullanılmıştır. Saha araştırmasından elde edilen veri seti, depo kapıları, raf sistemleri, üretim ve montaj hatları ile taşıma araçlarına ilişkin teknik bilgilerin detaylı analizini içermektedir. Çalışmanın kapsamı yalnızca belirli bir üretim tesisinde yapılan saha verileriyle sınırlı olup, model dinamik depo yapısı veya gerçek zamanlı değişkenleri kapsamamaktadır. Bu nedenle çalışmanın geçerliliği yalnızca söz konusu tesisin koşullarıyla sınırlı kalmakta, farklı senaryolardaki dinamik değişkenlere yönelik genelleme yapılmamaktadır. Uygulama sürecinde farklı işletme koşullarını yansıtan üç senaryo (dengeli, kısmen esnek ve esnek) oluşturularak her senaryo mesafe ve maliyet bazlı performans açısından değerlendirilmiştir. Analiz sonuçları, esnek paketleme ve taşıma stratejilerinin toplam taşıma mesafesinde %7'ye varan, enerji tüketiminde ve lojistik maliyetlerinde ise %6'ya varan iyileştirmeler sağladığını göstermiştir. Bu iyileştirmeler, mevcut operasyonel yapıya kıyasla anlamlı farklar yarattığını ve önerilen modelin stratejik etkisini ortaya koymaktadır. Böylece modelin sadece teorik bir öneri olmadığı, aynı zamanda sahada uygulanabilecek ve karar vericilere doğrudan yardımcı olabilecek pratik bir çözüm olduğu ortaya konmuştur. Bu bağlamda çalışma, imalat sektöründe maliyet, zaman, enerji gibi çok boyutlu performans kriterlerini eş zamanlı olarak iyileştirme potansiyeline sahiptir. Gelecekte yapılacak çalışmalarda, dinamik depo sistemlerine, gerçek zamanlı veri entegrasyonlarına ve belirsizlik altında optimizasyon yaklaşımlarına odaklanılması önerilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** İç Lojistik, Depo Optimizasyonu, Taşıt Seçimi, Matematiksel Modelleme, Slotlama.

## ABSTRACT

Coşkun, Ş. (2025). *A two-stage optimization model for minimizing internal logistics costs* (Doctoral Thesis). Sakarya University.

In today's competitive production environment, the sustainable success of companies depends not only on the development of production technologies but also on the effective management of logistics processes. In this thesis, an integrated optimization model has been developed to solve the cost, time and energy efficiency problems that arise in the internal logistics processes of manufacturing enterprises. In the study, a holistic model is proposed as an alternative to piecemeal solution approaches by integrating warehouse layout and vehicle selection decisions, which are the two main elements of internal logistics. In the literature, these two decision-making areas are usually treated independently and with fixed parameters; this is not sufficient to reflect the complex structure in real production environments. The proposed model is designed as a flexible and multi-criteria structure that can adapt to changing conditions. A comprehensive evaluation framework is created by integrating multiple performance criteria such as transportation time, distance, energy consumption, cost and labor utilization into the decision structure of the model. Thus, in addition to being a unique example of modeling from an academic point of view, the developed system offers a highly applicable solution in the manufacturing sector and provides guidance to decision makers.

The warehouse slotting model, which constitutes the first stage of the model, aims to place materials on shelves within the warehouse in a way that minimizes transportation distances to the relevant production and assembly areas. The main objective of this stage is to facilitate material flow, optimize transportation routes within the warehouse and increase the overall efficiency of the system by reducing operational complexity in the warehouse area. Shelf placement decisions are made by taking into account many parameters such as the physical distance to the production locations where the materials are requested, the current occupancy status of the shelves and door connections; thus minimizing transportation time and labor requirements. This model ensures that material movements within the warehouse are more predictable, organized and strategic.

The second stage, the vehicle selection model, aims to decide which vehicle to use in the transportation operations to be carried out in the production and assembly sites in accordance with the shelf layout structure determined in the first stage. This model includes various transportation vehicles such as forklifts, pallet trucks and material handling trolleys; issues such as load capacity, energy consumption, transportation speed, labor costs, compatibility of raw materials and transportation vehicles are evaluated by considering multi-criteria performance criteria. In this way, the most appropriate vehicle type is selected for each transportation task, ensuring energy efficiency and reducing overall costs. Both modules are mathematically structured using linear programming methods and integrated to feed each other. This structure ensures that decisions are made with a system-wide approach, ensuring efficiency not only at the local level but also at the global level.

In the application phase of the study, real field data obtained from a medium-sized manufacturing company operating in Sakarya province and working with integrated processes in the production site was used. The data set obtained from the field survey includes detailed analysis of technical information on warehouse doors, racking systems, production and assembly lines, and transportation vehicles. Therefore, the validity of the study is limited to the conditions of the facility in question, and no generalizations are made for dynamic variables in different scenarios. In the implementation process, three scenarios (balanced, partially flexible and flexible) were created to reflect different operating conditions and each scenario was evaluated in terms of distance and cost-based performance. The results of the analysis showed that flexible packaging and transportation strategies resulted in improvements of up to 7% in total transportation distance and up to 6% in energy consumption and logistics costs. In this context, the study has the potential to simultaneously improve multidimensional performance criteria such as cost, time and energy in the manufacturing sector. Future studies are recommended to focus on dynamic warehouse systems, real-time data integration and optimization approaches under uncertainty.

**Keywords:** Internal Logistics, Warehouse Optimization, Vehicle Selection, Mathematical Modeling, Slotting.

## GİRİŞ

Günümüz dünyasında hızla değişen piyasa koşulları ve küresel rekabetin artan baskısı, şirketleri üretim ve lojistik sistemlerini sürekli gözden geçirmeye, bu sistemleri daha verimli, esnek ve çevik hale getirmeye zorlamaktadır. Özellikle müşteri ihtiyaçlarının giderek çeşitlenmesi, ürün yaşam döngülerinin kısalması ve son kullanıcıların teslimat sürelerine ilişkin beklentilerinin yükselmesi, şirketlerin sadece dış lojistik süreçlerine değil aynı zamanda iç lojistik operasyonlarına da stratejik önem vermelerini gerektirmektedir. Bu gelişmeler, iş kaynaklarının daha etkin planlanmasını ve kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Lojistik sistemleri sadece destek unsurlar olmaktan çıkıp, doğrudan rekabet avantajı sağlayan kritik yapı taşları haline gelmektedir. Depo yönetimi bu noktada malzeme taşıma sistemleri ve araç seçimi kararları iç lojistik faaliyetlerinin temel bileşenleri olarak öne çıkmaktadır. Bu karar alma süreçleri sadece operasyonel verimliliği artırmakla kalmayıp, aynı zamanda işletmelerin genel maliyet yapılarını doğrudan etkileyen, zaman yönetimini optimize eden ve enerji tüketimini azaltarak sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşılmasına katkı sağlayan unsurlar olarak stratejik öneme sahiptir.

### Araştırmanın Problemi ve Soruları

Üretim sektöründe iç lojistik süreçleri, üretim sistemlerinin verimliliğini doğrudan etkileyen kritik operasyonel bileşenlerdir. Bu süreçler; Hammaddede temini, bu malzemelerin depoda uygun yerlere yerleştirilmesi, gerektiğinde taşınması ve son olarak zamanında, eksiksiz ve doğru bir şekilde üretim hattına ulaştırılması gibi birçok alt faaliyeti kapsamaktadır. İç lojistik akışının bu denli karmaşık ve çok bileşenli bir yapıya sahip olması, süreçte yaşanabilecek herhangi bir aksamının tüm sistemde olumsuz zincirleme reaksiyonlara yol açmasına neden olmaktadır. Özellikle depo yerleşimindeki hatalar, malzemelere erişim sürelerini artırabilecek gecikmelere neden olabilmekte ve taşıma operasyonlarındaki aksamalar, üretim hattının durmasına kadar varan gecikmeler yaşanmasının sebebi haline gelmektedir. Bu durumlar sadece zaman kaybına yol açmakla kalmamakta, aynı zamanda üretim planlarında aksamalara, üretkenliğin azalmasına, enerji/maliyetlerin artmasına neden olarak genel işletme performansını da olumsuz etkilemektedir. İç lojistik süreçlerinin büyük oranda manuel karar alma mekanizmaları ve operatör deneyimine dayalı olarak yürütülmesi iç lojistik faaliyetlerinde önemli bir verimlilik potansiyelinin kullanılmamasına neden olmaktadır.

Lojistik ve depo yönetimi üzerine yapılan akademik araştırmalar, belirli alt süreçlere odaklanan parçalı yaklaşımları öne çıkarma eğilimindedir. Bu çalışmalarda, depo yerleşimi (malzeme yerleştirme planlaması), sipariş toplama rotalarının optimizasyonu veya üretime uygun taşıma araçlarının seçimi gibi konular ağırlıklı olarak bağımsız tek kriterli modeller kullanılarak ele alınmaktadır. Ancak depo yerleşimi ile taşıma sistemleri arasındaki ilişki yalnızca mekânsal değil aynı zamanda zamansal ve maliyetsel etkileşimleri de içermektedir. Mevcut literatürde lojistik kararların bu iki temel alanını eş zamanlı ve bütünsel olarak modelleyen çalışmalar oldukça sınırlıdır. Özellikle depoda verilen malzeme yerleştirme kararlarının taşıma sürecine etkisi; örneğin, seçilen raf konumunun nakliye süreleri, enerji tüketimi veya araç rotaları üzerindeki doğrudan etkisi çoğu modelde göz ardı edilmektedir. Literatürde taşıma maliyetlerini düşürmeyi, enerji tüketimini veya araç kullanılabilirliğini en aza indirmeyi hedefleyen çeşitli optimizasyon modelleri bulunmasına rağmen, bu yaklaşımların çoğu bireysel karar noktalarını dikkate almakta ve sistemin genel performansını göz ardı etmektedir. Bu nedenle iç lojistik sistemini bütünsel bir bakış açısıyla ele alan, depo yerleşimi ve taşıma kararlarını birlikte optimize eden model çalışmalarına olan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Ayrıca mevcut literatürdeki çalışmaların çoğu, sınırlı sayıda değişkeni ve sabit koşulları dikkate alarak çözümler geliştirmektedir; bu nedenle gerçek üretim ortamlarının karmaşık, dinamik ve değişken yapısını modelleme sürecine yeterince entegre edememektedirler. Genellikle tek bir senaryo baz alınarak geliştirilen bu modeller, işletmelerin günlük operasyonlarında karşılaştıkları belirsizlikleri ve değişkenleri göz ardı ederek, geliştirilen çözüm önerilerinin saha uygulamalarında geçerliliğini ve etkinliğini önemli ölçüde azaltmaktadır. Depolardaki raf sistemlerinin yoğunluğuna bağlı olarak zaman içerisinde değişebilen doluluk oranları, araçların anlık bulunabilirliği, farklı taşıma sistemlerinin enerji tüketim seviyeleri, vardiyalı işçilik maliyetleri gibi birçok operasyonel değişken, literatürdeki birçok modelde dışsal olarak kabul edilmekte veya sabit parametreler olarak ele alınmaktadır. Ancak bu tür parametreler, lojistik sisteminin genel performansını doğrudan etkileyen ve karar alma sürecinde mutlaka dikkate alınması gereken kritik unsurlar arasındadır. Bu faktörlerin birlikte değerlendirilmesi durumunda, iç lojistik süreçlerinde önemli verimlilik artışları sağlanabilir. Bu noktadan hareketle depo yerleşimi ve araç seçiminin birlikte ele alınması, iç lojistik verimliliğini nasıl etkilediği sorusu bu çalışmanın temel araştırma problemini oluşturmaktadır.

### **Araştırmanın Amacı**

Çalışmanın temel amacı, depo yerleşimi ve araç seçimi kararlarının ele alınmasında teorik düzeyde analizin ötesine geçerek, iş pratiğine uygulanabilir ve gerçek yaşam koşullarına duyarlı bir karar yapısı ortaya koymaktır. Bu bağlamda, çalışma hem literatürdeki metodolojik bir boşluğu doldurmayı hem de imalat sektöründeki firmalar için sürdürülebilir, maliyet etkin ve zaman açısından optimize edilmiş lojistik sistemlerinin geliştirilmesine katkıda bulunmayı amaçlamaktadır.

Bu çalışmanın temel amacı, imalat sektöründe faaliyet gösteren işletmelerde iç lojistik maliyetlerini azaltmak için depo yerleşimi ve nakliye araçlarının eş zamanlı ve kapsamlı optimizasyonuna olanak sağlayacak matematiksel bir model geliştirmektir. Günümüzün rekabetçi üretim ortamında, hammadde ve yarı mamullerin depolara yerleştirilmesi ve bu malzemelerin üretim alanlarına taşınmasında kullanılan araçların seçimi, iç lojistik sisteminin performansını doğrudan etkileyen iki önemli karar alanıdır. Ancak bu iki unsurun ayrı ayrı yönetilmesi çoğu zaman kaynak israfına, zaman kaybına ve işletme maliyetlerinin artmasına neden olur.

Her iki model de entegre çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Depo slotlama modelinden elde edilen konum bilgisi, doğrudan taşıma modelinin karar değişkenlerini beslemektedir. Böylece kararlar, sadece lokal optimizasyonu değil, sistemin bütününe de dikkate alarak, global optimizasyon çerçevesinde alınmaktadır. Bu sayede sadece bölümün değil, tüm iç lojistik sisteminin performansı iyileştirilerek, işletmelerin genel lojistik maliyetlerinde önemli düşüşler sağlanmaktadır. Bu bütünsel yaklaşım, modelin hem akademik değerini artırmakta hem de gerçek üretim ortamlarında uygulanmasına olanak tanımaktadır.

### **Araştırmanın Önemi**

Bu çalışmanın önemi sadece teorik düzeyde literatüre sağladığı katkı ile sınırlı olmayıp, aynı zamanda uygulama boyutuyla da imalat sektöründe faaliyet gösteren işletmelere özgü faydalar sağlaması açısından çok boyutlu değere sahip olmasıdır. Rekabetin artması, müşteri beklentilerinin çeşitlenmesi ve kaynak kullanımında sürdürülebilirliğin önemi gibi nedenlerle iç lojistik süreçlerinin optimizasyonu stratejik bir alan haline gelmiştir. Ancak literatürde bu alanda yapılmış araştırmalar incelendiğinde, depo yerleşimi veya taşıma sistemlerine odaklı bireysel yaklaşımların ön planda olduğu görülmektedir. Depo yerleştirme stratejileri veya araç atama kararları çoğu çalışmada

bağımsız değişkenler olarak ele alınmakta ve aralarındaki etkileşim göz ardı edilmektedir. Bu durum sistemin genel performansının değerlendirilmesini ve iyileştirilmesini zorlaştırmakta ve önerilen modellerin sahada uygulanabilirliğini sınırlamaktadır. Modelin çıktıları, üretim planlayıcılarının depo operasyonlarını daha verimli organize edebilmesine ve enerji/maliyet hesaplamalarında daha öngörülebilir kararlar alabilmesine olanak sağlamaktadır

### **Araştırmanın Literatüre ve Uygulamaya Katkısı**

Bu tezde iç lojistik sisteminin iki ana bileşeni olan depo düzeni ve araç seçimini tek çatı altında birleştiren entegre bir optimizasyon modeli önermektedir. Bu şekilde, sadece detayları değil, tüm süreçleri kapsayan bir yaklaşımla sistemi çözmek mümkün hale gelmektedir. Lojistik akışının her aşamasında kararlar veri odaklı ve tamamlayıcı bir şekilde alınabileceği öngörülmektedir. Geliştirilen model, çok kriterli karar yapısı nedeniyle mesafe ve zaman gibi geleneksel performans kriterleriyle sınırlı değildir; Ayrıca enerji tüketimi, ekonomik verimlilik, kaynak kullanım dengesi gibi sürdürülebilirlik açısından kritik öneme sahip kriterleri de dikkate alarak çok boyutlu bir çözüm çerçevesi sunuyor.

### **Araştırmanın Yöntemi**

Çalışmanın ayırt edici yönlerinden biri, modelin sadece teorik bir çerçeve olarak kalmayıp, bir üretim işletmesinden belirli bir alanda elde edilen veriler kullanılarak test edilmesidir. Bu sayede önerilen çözüm, pratikte karşılaşılabilecek farklı üretim senaryoları ve operasyonel esneklik seviyeleri altında etkinliğini koruyabilecek şekilde yapılandırılmıştır. Bu tezde geliştirilen model, literatürde yaygın olarak bulunan sabit parametrelili, tek senaryolu modellerle karşılaştırıldığında değişen koşullara daha yüksek düzeyde uyum sağlayabilmektedir. Bu bağlamda, çalışma akademik literatüre önemli bir katkı sağlamanın yanı sıra, daha esnek, sürdürülebilir ve maliyet odaklı iç lojistik sistemlerinin oluşturulmasına doğrudan katkı sağlayarak, imalat sektöründeki karar vericilere etkili bir araç sunmaktadır.

Üretim işletmelerinde iç lojistik faaliyetlerinin sistematik planlama ve karar destek mekanizmaları olmadan yürütülmesi, süreçlerin genel verimliliğini olumsuz etkilemekte, önemli ölçüde zaman, enerji ve maliyet kayıplarına yol açmaktadır. Özellikle malzeme yerleştirme stratejileri ve depo aracı seçimi, çoğu tesiste operatör deneyimi, kişisel alışkanlıklar ve güncel operasyonel ihtiyaçlar tarafından

şekillendirilmeye devam etmektedir. Bu tür sezgisel ve plansız yaklaşımlar, depo alanının verimsiz kullanılmasına, taşıma rotalarının optimize edilmemesine ve sonuç olarak lojistik verimliliğinin azalmasına yol açmaktadır. Malzemelerin raflara plansız yerleştirilmesi ihtiyaç duyulduğunda hızlı erişimi engellemektedir. Öte yandan araç seçiminde sezgisel seçimler ise hem enerji tüketimini hem de çalışma süresini arttırmaktadır.

Saha gözlemleri ve uygulama örnekleri, birçok işletmede depo düzeninin tutarsız olduğunu ve nakliye operasyonlarının planlama yerine tepkisel yaklaşımlarla yönetildiğini göstermektedir. Ham maddelerin yanlış raflara yerleştirilmesi üretim süreçlerinde gecikmelere neden olmaktadır. Uygun olmayan araç kullanımı iş gücünün verimliliğini düşürmekte olup araç ve ekipmanların verimsiz kullanılmasına yol açmaktadır. Bu yapısal sorunların temelinde depo yerleşimi ile taşıma sistemi arasında bütünleşik düşünce ve karar alma mekanizmasının kurulamaması yatmaktadır. İç lojistik faaliyetlerinin bu iki kritik bileşeni birbirinden bağımsız olarak yönetildiğinde, genel sistem performansında istenilen iyileşme sağlanamamakta ve işletmeler operasyonel avantaj potansiyellerini kaybetmekle karşı karşıya kalmaktadırlar.

Bu nedenle, bu sorunlara çözüm bulmak amacıyla tasarlanan bu tez araştırması, depo yerleşimi ve araç seçimi kararlarını tek bir bütünleşik çerçevede optimize eden iki aşamalı bir model önermektedir. Model, hem sistemin mekânsal organizasyonunu hem de taşıma sürecinde araç kullanımını veri odaklı kararlarla yönetmeyi, böylece iç lojistik süreçlerindeki düzensizlikleri ortadan kaldırmayı ve maliyet, zaman ve enerji açısından sürdürülebilir çözümler sunmayı hedeflemektedir. Bu yaklaşım, sadece bireysel karar noktalarının değil, aynı zamanda tüm sistem akışının optimizasyon çerçevesinde ele alınmasını sağlamaktadır.

### **Araştırmanın Kısıtları**

Geliştirilen model belirli varsayımlar ve kısıtlar çerçevesinde yapılandırılmış olup, bu yapı hem modelin uygulanabilirliğini hem de analiz sürecinde hesaplamaların etkinliğini sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Öncelikle model, analiz edilen üretim tesisindeki fiziksel altyapının sabit olduğunu varsaymaktadır. Bu bağlamda depo yerleşimi, raf sistemleri, taşıma koridorları ve üretim alanlarının sabit olduğu varsayılmaktadır. Bu unsurların modelleme süreci boyunca değişmediği varsayılmaktadır. Taşıma rotalarının statik olduğu ve lojistik akışına dışarıdan fiziksel bir müdahalenin (örneğin yeniden yapılanma, kapalı alan kullanımı vb.) olmadığı

varsayılmaktadır. Ayrıca, taşıma operasyonları sırasında lojistik akışının kesintiye uğramasına neden olabilecek trafik sıkışıklığı, araç arızası, beklenmeyen duruşlar veya diğer anormal durumların olmayacağı varsayılmaktadır. Bu bağlamda araçların her zaman iyi durumda ve kullanıma hazır olduğu varsayılmaktadır.

Model parametrelerinin yapısı da belirli kararlılık prensiplerine dayanmaktadır. Tüm araçların teknik kapasiteleri, taşıma hızları, enerji tüketim seviyeleri ve işletme maliyetleri sabit değerlerle belirlenmektedir. Benzer şekilde taşınan hammaddelere ilişkin talep miktarları, tanımlanmış bir üretim planı doğrultusunda günlük olarak sabitlenmekte, üretim sürecindeki değişken talepler veya mevsimsel dalgalanmalar modelleme kapsamı dışında bırakılmaktadır. Ayrıca hammadde tipleri ile araç tipleri arasında taşınabilirlik özellikleri de dikkate alınarak önceden tanımlanmış uyumluluk eşleşmeleri oluşturulmaktadır. Böylece modeldeki araç-hammadde ilişkilendirmeleri sabit kurallara göre gerçekleştirilmektedir.

#### **Araştırmanın Sınırlılıkları**

Sınırlılıklar açısından değerlendirildiğinde, bu çalışma sadece bir üretim tesisinin lojistik sistemi esas alınarak tasarlanmış olup, uygulama aşamasında saha verileri üzerinden test edilmiştir. Bu sınırlılıklar, modelin hesaplama yükünü dengeleyerek çözüm hızını artırmakta ve sistemin davranışını daha kontrollü bir yapıda gözlemleme olanağı sağlamaktadır. Gelecekteki araştırmalar, bu modeli daha esnek, dinamik, çoklu senaryo tabanlı ve belirsiz yapılarla geliştirerek daha karmaşık lojistik sistemlerine uyarlama potansiyeline sahiptir. Dolayısıyla burada tanımlanan varsayımlar, mevcut araştırmanın sınırlarını çizen ve aynı zamanda yeni araştırma alanlarına kapı açan bir başlangıç noktası niteliğindedir.

Bu tez çalışması beş ana bölümden oluşmaktadır. Giriş bölümünde, araştırma konusu bağlamında problemin tanımı, literatürdeki boşluklar, araştırmanın amacı, önemi ve katkıları sistematik bir şekilde açıklanmıştır. Birinci bölümde, depo yönetimi, iç lojistik sistemler ve optimizasyon modellerine ilişkin literatür ayrıntılı olarak incelenmiş; teorik çerçeve sunulmuştur. İkinci bölümde, önerilen iki aşamalı modelin matematiksel yapısı, karar değişkenleri ve kısıtları detaylandırılmıştır. Üçüncü bölümde, saha verileriyle modelin uygulaması gerçekleştirilmiş ve modelin gerçek bir üretim ortamına entegrasyonu anlatılmıştır. Farklı senaryolar altında elde edilen bulgular analiz edilerek taşıma mesafesi, maliyet ve araç kullanımı bakımından modelin performansı değerlendirilmiştir. Sonuç ve Öneriler bölümünde, çalışma genel bir değerlendirmeye

tabi tutulmuş, sonuçlar özetlenmiş ve gelecekteki çalışmalara yönelik öneriler geliştirilmiştir.



# **BÖLÜM 1.DEPO YÖNETİMİ VE MALZEME YERLEŞİMİNDE OPTİMİZASYON YAKLAŞIMLARI**

Günümüzde artan küresel rekabet ve hızla değişen müşteri beklentileri, şirketleri lojistik süreçlerini daha verimli ve esnek hale getirmeye zorunlu kılmıştır. Bu bağlamda, depo yönetimi ve malzeme yerleştirme, lojistik sistemlerinin temel bileşenleri olarak öne çıkmakta ve operasyonel verimliliğin artırılmasında hayati rol oynamaktadır. Uygun depo planlaması, nakliye operasyonlarının optimizasyonu ve kaynakların verimli kullanımı, maliyetleri düşürmek ve hizmet seviyelerini iyileştirmek için kritik öneme sahiptir.

## **1.1. Depo Yönetimi ve Depo Operasyonları**

Küresel tedarik zincirlerinin giderek karmaşıklaşması, müşteri ihtiyaçlarının çeşitlenmesi ve dijital dönüşüm süreçleri, şirketleri depo yönetimine yönelik yaklaşımlarını yeniden düşünmeye zorlamıştır. Depo yönetimi sadece ürünlerin depolanmasını değil, aynı zamanda bu ürünlerin izlenmesi, sınıflandırılması, yerleştirilmesi ve gönderilmesi süreçlerinin kapsamlı, veri odaklı planlanmasını da içerir. Envanter doğruluğunun artırılması, nakliye sürelerinin kısaltılması, alan kullanımının iyileştirilmesi ve işletme maliyetlerinin düşürülmesi açısından etkili depo yönetimi stratejik öneme sahiptir.

Depo yönetimi, tedarik zinciri yönetiminin temel unsurlarından biri olup, ürünlerin etkin bir şekilde depolanması, izlenmesi ve dağıtılması süreçlerini kapsamaktadır (Berg ve Jeroen, 1999). Depolama operasyonları bu sürecin uygulamalı boyutunu temsil eder ve malların alınmasından sevkiyatına kadar geniş bir yelpazedeki faaliyetleri içerir. Artan müşteri talepleri, hızlı teslimat beklentileri ve iş dünyasının dijitalleşmesi, depo yönetimine yönelik daha sistematik, veri odaklı ve optimize edilmiş yaklaşımların benimsenmesini gerektirmektedir (Min ve Lim, 2023). Bu nedenle, hem teorik altyapının (Zhang ve Tao, 2017) hem de uygulanan model ve yöntemlerin (Gamberini vd., 2008; Öztürkoğlu, 2018) ayrıntılı bir şekilde incelenmesi, etkili bir depo yönetim sisteminin oluşturulması için büyük önem taşımaktadır.

Berg ve Jeroen (1999) tarafından yapılan kapsamlı bir inceleme, depo sistemlerinin planlanması ve kontrolüne yönelik temel yaklaşımları özetlemektedir. Çalışmada depo yönetiminde stratejik, taktik ve operasyonel düzeylerde alınan kararların lojistik

performansına etkisi incelenmektedir; Stok yönetimi, depo düzeni ve malzeme akışının optimizasyonu gibi temel konular ayrıntılı olarak ele alınmaktadır.

Malzeme yerleştirme ve taşıma süreçlerinin optimize edilmesi, depolama operasyonları için kritik öneme sahiptir. Glock ve Grosse (2012), U şeklinde raf sistemlerinin sipariş toplayıcı geçiş sürelerini azaltmadaki etkisini inceleyerek düzen yapısının önemini vurgulamıştır. Bu yaklaşım, depo operasyonlarının verimliliğinin artmasını sağlar. Chuang ve diğerleri (2012) tarafından önerilen kümeleme atama problemi modeli (CAPM) ürünler arası ilişkilere dayalı düzenleme stratejisiyle öne çıkmaktadır. Çalışmada, sipariş modeli tabanlı montaj stratejilerinin önemi ortaya konularak operasyonel verimliliğin sağlanması amaçlanmaktadır.

Gamberini ve diğerleri (2008) tarafından yapılan çalışmada depo kapasitesinin en verimli şekilde kullanılması için farklı depolama stratejilerini karşılaştırarak, palet yükleme ve raflama yaklaşımlarıyla depo düzeni optimizasyonu entegre edilmiş olup, bu yönüyle çalışma depo alanı kullanım verimliliğinin artırılması açısından büyük önem taşımaktadır.

Öztürkoğlu (2018) sipariş toplama rotalarının düzeninin tasarımı ve optimizasyonuna odaklanan çalışmada depo yerleşim tasarımında çapraz koridorları dikkate alarak seyahat mesafelerini azaltmak ve depo alanı kullanımını iyileştirmek için çift amaçlı bir matematiksel model sunmuştur. Depo düzenine ilişkin diğer önemli çalışmalar arasında Chiang ve diğerleri (2021) tarafından yapılan çalışma, bileşenlerin ortalama bekleme süresine göre sınıflandırılması ve çıkışa daha yakın yerleştirilmesiyle toplama sürelerinin azaltılabileceğini göstermiştir. Zaerpour ve diğerleri (2015) sınıf temelli yerleştirme stratejilerinde sınıf sayısının artırılmasının her zaman yararlı olmadığını belirtmişlerdir.

Depo sipariş toplama süreçleri, sipariş toplama sisteminin sınıflandırılması, rota optimizasyonu ve yerleşim tasarımı ile yakından ilişkilidir. Pinto vd. (2023), sipariş toplama sistemlerini otomasyon düzeylerine ve optimizasyon politikalarına göre sınıflandırarak bölgesel ve toplu toplama gibi stratejilerin sistem performansına olan etkisini inceleyerek teorik bir temel oluşturmuşlardır. Roodbergen ve Vis (2006), bir depo içindeki sipariş toplama alanının düzenini optimize etmek için analitik formüller geliştirmiş ve kat edilen ortalama mesafeyi en aza indiren çözümler önermişlerdir. Zhao ve diğerleri (2019), yaya dengeleme algoritmalarını kullanarak slot atama ve rota karar verme sürecini koordine ederek seyahat süresini azaltmıştır. Chen ve diğerleri (2011),

tabu arama algoritmasını kullanarak dinamik bir depo ortamında ürün hareketi sorununu ele almışlardır. Depo planlama çözümlerinin üretim planlamasıyla entegre edilmesi de önemlidir. Zhang ve diğerleri (2017) tarafından geliştirilen matematiksel model, depo yerleşim problemini üretim planlamasıyla bütünleştirerek her iki alanın da aynı anda optimize edilmesine olanak tanır.

Wutthisirisart ve diğerleri (2015), sipariş özelliklerine göre depo yerleşimini optimize etmek için iki aşamalı bir sezgisel algoritma önermiştir. Ayrıca Min ve Lim (2023), modern lojistik sektöründeki depolama operasyonlarının alan sıkıntısı, işgücü sıkıntısı ve operasyonel verimsizliği sorununa bir çözüm olarak yenilikçi çift yönlü istiflenebilir sonsuz döngü modüllerine dayalı otomatik depolama sistemleri geliştirmiştir.

Depo yönetimi, lojistik verimliliğinin artırılmasında ve iç süreçlerin etkinliğinin sağlanmasında hayati bir rol oynar. Depo operasyonları fiziksel yerleşimle sınırlı olmayıp, envanter yönetimi, malzeme akışı, sipariş toplama ve sevkiyat süreçlerinin entegre bir şekilde uygulanması gerektiğini görülmektedir. Özellikle depo yerleşimi, raf yapısı ve sipariş toplama stratejileri gibi unsurların doğru planlanması, nakliye mesafelerinin ve maliyetlerinin azaltılması açısından büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda depo yönetimine yönelik optimizasyon modelleri ve karar destek sistemleri hem akademik araştırmaların hem de endüstriyel uygulamaların konusu haline gelmiştir.

## **1.2. Depo İç Lojistik ve Malzeme Taşıma Süreçleri**

Depo içi lojistik süreçleri, üretim ve dağıtım arasında bağlantı görevi görerek, bir işletme içinde malzemelerin fiziksel hareketini yöneten temel operasyonlardır. Depo içi lojistik süreçleri, malların alınmasından sevkiyatına kadar operasyonların etkin ve sistematik bir şekilde yönetilmesini amaçlayan bir dizi faaliyet olup alma, ayırma, rafa yerleştirme, sipariş toplama ve sevkiyat noktalarına teslimat gibi bir dizi faaliyet zincirini kapsamaktadır (Cortés vd., 2017). Bu süreçlerin merkezinde yer alan malzeme elleçleme operasyonları, depolama alanları arasındaki fiziksel hareketleri yönetmek, nakliye sürelerini azaltmak ve iş gücü kullanımını optimize etmek açısından kritik öneme sahiptir (Glock ve Grosse, 2012; Mukherjee vd., 2023). Ürünlerin giderek çeşitlenmesi, zamanında teslimat ihtiyacı ve kaynakların verimli kullanılması zorunluluğu, üretim içi lojistiğin sistematik ve optimize edilmiş bir yapı kullanılarak yönetilmesini gerekli kılmaktadır. Malzeme taşıma stratejilerinin etkinliği, yalnızca

depo üretkenliğini değil, daha fazlasını doğrudan etkiler; ama aynı zamanda üretim hattının devamlılığı, müşteri memnuniyeti ve genel işletme maliyetleri de önemlidir.

Malzeme elleçleme operasyonları yalnızca fiziksel hareketleri değil aynı zamanda işletme maliyetlerini ve sistem verimliliğini de doğrudan etkiler (Alnahhal vd., 2024; Bahrami vd., 2019). Dolayısıyla, depo süreçlerinin etkin bir şekilde yönetilmesi, planlama ve taşıma stratejileri gibi unsurların kapsamlı bir şekilde optimize edilmesini gerektirir. Fumi ve diğerleri (2013), slot düzeni optimizasyonunun nakliye mesafesi ve süresi üzerindeki etkisini araştırmış ve yüksek talep gören ürünlerin depo giriş/çıkış noktalarına yakın konumlandırılmasıyla nakliye mesafesinde %36'ya kadar bir azalma sağlandığını bulmuşlardır. Ayrıca, sezgisel algoritmalar kullanılarak yerleşim ve ulaşım stratejilerinin bütünsel değerlendirilmesinin sistem performansını iyileştirdiği gösterilmiştir.

Bu doğrultuda literatürde, depo içi taşıma araçlarının organizasyonunun ve malzeme yerleştirme stratejilerinin, taşıma sürelerini azaltarak maliyetleri düşürmede ne kadar etkili olduğu sıklıkla vurgulanmaktadır. Bu bağlamda, sipariş toplama optimize etmek için özel olarak geliştirilen modeller dikkate değerdir. Cortés ve diğerleri (2017), büyük ve orta ölçekli dağıtım merkezlerinde sipariş toplama rotalarını optimize etmek için tabu arama tabanlı bir yaklaşım geliştirmiştir. Heterojen ulaşım ekipmanlarının entegrasyonunu ve operasyonel kısıtlamaları hesaba katan bu model ile gelişmiş tabu arama yöntemlerini kullanarak çözüm kalitesini iyileştirmek için gerçekçi ve etkili bir yöntem ortaya koymuştur.

Benzer şekilde Chuang ve diğerleri (2012) tarafından geliştirilen CAPM modeli birlikte sipariş edilen ürün gruplarının Z tipi bir hareket rotasına göre yerleştirilmesini sağlayarak sipariş toplayıcının kat ettiği toplam mesafeyi azaltır. Simülasyon sonuçlarına göre bu yöntem, rastgele ve frekans stratejilerine kıyasla %45'e kadar verimlilik artışı sağlamaktadır.

Mukherjee ve diğerleri (2023) tarafından yapılan bir başka düzen optimizasyon çalışmasında, merkezi olmayan bilgi ortamlarında palet düzeninin sipariş toplama süresi ve ekipman kullanımı üzerindeki etkisini analiz edilmiştir ve önerilen karma tamsayı programlama modelini kullanarak iş yükü dengesinin ve kaynak tahsisinin optimize edilmesi amaçlanmıştır. Veri madenciliğine dayalı yaklaşımların bu alanda da etkili sonuçlar verdiği görülmektedir.

Alnahhal ve diğerleri (2024) tarafından daha bütünsel bir yaklaşım sunularak, otomatik dağıtım merkezleri için palet bazlı (birim yük) ve kasa bazlı (minimum yük) AS/RS sistemlerinin entegre edildiği hibrit bir depo ortamı tasarlanmıştır. Çalışmada ürün talep seviyelerine göre en uygun parti büyüklükleri belirlenerek, taşıma yoğunluğu, vinç kullanımı ve depo hacmi gereksinimleri azaltılmıştır. Böylece hem kavramsal tasarım düzeyinde hem de operasyonel düzeyde uygulanabilir çözümler sunulmuştur.

Slotlama politikalarının esnekliği önemli faydalar sağlamaktadır. Bahrami ve diğerleri (2019), klasik eşit alan depolama yaklaşımı yerine, genel toplama mesafesini %20'ye kadar azaltan ve depolama operasyonlarında esneklik sağlayan "ana konum" ve "serbest alan" bölgelerine ayrılmış bir yapı önermiştir. Benzer şekilde Kim ve Smith (2012), SKU yerleşimini optimize eden SA-C algoritmasını kullanarak klasik COI yaklaşımına kıyasla %5,5-27 oranında performans iyileştirmesi elde etmiştir. Özellikle sipariş toplama sistemleri için geliştirilen bu yöntem, taşıma sürelerini azaltarak depo verimliliğini artırmıştır.

Yerleşim yapısının ve raf sistemlerinin tasarımı da taşıma süreçlerini doğrudan etkilemektedir (Glock ve Grosse, 2012). U şeklinde raf sistemleri ve esnek taban düzeni sayesinde sipariş toplayıcı taşıma süresini en aza indiren bir tasarımda frekans tabanlı planlama politikalarının zaman ve emek verimliliğini artırdığını gözlenmiştir.

Yükleme ve boşaltma istasyonlarının konumu gibi detaylı mimari kararlar da sistem performansını etkilemektedir. Sari ve diğerleri (2007), çalışmalarında akış rafı AS/RS sistemlerinde rafın ortasına yerleştirilen istasyonların taşıma sürelerini azalttığını ve sistem verimliliğini artırdığını göstermiştir. Revillot-Narváez ve diğerleri (2019), yük transfer kabiliyetine sahip kompakt depo sistemlerinde elleçleme ihtiyacını en aza indiren, hem taşıma süresini hem de enerji tüketimini azaltan stratejiler sunmuştur. Son olarak Zhou ve diğerleri (2022) taşıma rotalarını optimize etmeyi amaçlayan matematiksel modeller ve sezgisel algoritmalar geliştirmiştir. Çalışma, birleşik rota stratejisinin diğer yöntemlere kıyasla en kısa taşıma süresini sağladığını göstermiştir.

Depo iç lojistik süreçlerinin etkin yönetimi, hem maliyet avantajı elde etmek hem de iş sürekliliğini sağlamak açısından belirleyici bir unsurdur. Dinamik koşullara uygun olarak iç lojistik yapılarının yeniden yapılandırılması sadece fiziksel süreçlerde değil, aynı zamanda stratejik karar alma mekanizmalarında da iyileştirmelere yol açmaktadır.

### 1.3. Lojistik Yönetiminin Temel Unsurları

Lojistik sözcüğünün kökeni Latince mantık ve taktik anlamlarına gelen lojik(mantık) ve statik(taktik) kelimelerinin birleşmesine dayanır. Mantıki istatistik olarak ifade edilmektedir (Yavaş, 2018).

TDK tarafından yapılan tanımlamaya göre lojistik; “insanların ihtiyaçlarını karşılayacak mal, hizmet ve bilgi akışının çıktığı noktadan vardığı noktaya kadar taşınmasının etkin ve verimli bir şekilde planlanması ve uygulanmasıdır. NATO ise lojistiği “strateji, taktik ve intikalle bağlantı kurarak bakım ve intikalden sorumlu birliklerin planlanan ve icra edilen faaliyetlerini idare etme sanatı” olarak tanımlamaktadır (Çim, 2019).

Tedarik Zinciri Profesyonelleri Konseyi (CSMP) tarafından 1985 yılında yapılan tanımlamaya göre; müşterilerin ihtiyaçlarının karşılamak üzere her türlü ürün, hizmet ve bilgi akışının, hammaddesinin başlangıç noktasından ürünün tüketildiği son noktaya kadar olan tedarik zinciri içindeki hareketinin, etkili ve verimli bir şekilde planlanması, uygulanması, taşınması, depolanması ve kontrol altında tutulması hizmeti lojistik olarak adlandırılmıştır (Elmas, 2011). Lojistik Derneği ise tanımlı “tedarik, dış ticaret işlemleri, depolama, elleçleme, envanter kontrolü, taşıma, araç-kargo takibi vb. faaliyetlerin tümü” olarak çerçeve içine almıştır (Kulaç, 2019).

Lojistik yönetimi, işletmelerin tüm lojistik kavramı kapsamında ele alınan faaliyetleri yönetmesi anlamına gelmektedir(Dinçer ve Diskaya, 2018). Lojistik temel olarak ürün ve malzemelerin depolanması ve hareketinin nasıl sağlanacağını belirleyen bir kavram olarak tanımlanmaktadır. Bir yönetim yaklaşımı olarak, tedarik ve talebin koordinasyonu ve hareketini sağlayan, sipariş işleme, envanter, ulaştırma, malzeme elleçleme, ambalajlama ve depolama faaliyetlerini içine almaktadır (Alanur, 2014). Lojistik yönetiminin temel unsurları Tedarik Lojistiği, Üretim Lojistiği, Dağıtım Lojistiği ve Tersine Lojistik olarak sıralanmaktadır.

**Tedarik Lojistiği:** Malzemelerin(hammadde ve yarı mamuller) üretim yapılacak işletmeye getirilmesi işlemlerini içermektedir. Taşıma işlemlerinin en az maliyetle gerçekleştirilmesi amacını taşımaktadır (Kulaç, 2019). Üretimin yapılabilmesi için gerekli malzeme ihtiyacının tespiti, kaynakların belirlenmesi ve taşıma faaliyetlerinin toplamını ifade etmektedir (Çim, 2019). Fiziksel akışa konu olan hammadde ve yarı mamullerin miktar olarak üretimin ihtiyacından fazla tedarik edilmesi durumu doğru zamanda, doğru miktarda malzeme tedariği için sürecin incelenmesini zorunlu kılmıştır

(Zenginçelebi, 2013). Tedarik lojistiği malzemelerin tedarikçiden uygun kalitede ve düşük maliyetle alınması, depolanması ve üretim alanına getirilmesi işlemlerinin tamamıdır (Özkan, 2015).

**İ Lojistik:** İşletme sınırları içinde fiili üretimin yapılması için gerekli malzeme akışının sağlanması üretim lojistiği olarak adlandırılmaktadır. İşletmenin kendi bünyesinde gerçekleştirdiği faaliyetleri kapsamaktadır. Malzemelerin depolanması için kullanılan depolama alanları üretim deposu, dağıtım deposu ve kontrat deposu adını almaktadır. Depolara malzeme alımında izlenen adımlar sırasıyla, kabul aşaması, depolama, sipariş toplama ve sevkiyattır (Ateş, 2018). İ lojistik tedarikçiden son tüketiciye doğru olan fiziki akıştaki tüm unsurların koordinasyonudur. Malzeme yönetim fonksiyonu kapsamında ürünü oluşturan bileşenlerin işletme içindeki hareketini saplamak için gerçekleştirilen çabaların toplamı olarak tanımlanmaktadır (Elmas, 2011). Üretim tesisleri içindeki malzeme hareketlerinin organizasyonu işletme içi lojistik olarak adlandırılmaktadır (Kulaç, 2019). Üretim lojistiğindeki faaliyetler envanter yönetimi, malzeme yönetimi, kalite yönetimi faaliyetlerinin toplamıdır (Çim, 2019). Bir ürünün uygun miktar ve kalitede üretilmesi için gerekli malzeme akışının koordinasyonunun sağlanması üretim lojistiğinin temel amacıdır (Zenginçelebi, 2013). Bütün faaliyetlere ek olarak araştırma geliştirme ve tasarım etkinlikleri de üretim lojistiği kapsamındadır (Köse, 2018).

**Dağıtım Lojistiği:** Üretilmiş ürünlerin son tüketiciye ulaştırılması için kullanılan dağıtım kanalındaki fiziksel ve bilgi akışının tamamı ifade edilmektedir (Kulaç, 2019). Bu süreçte ürünün hareketi, taşıma işlemleri, ulaştırma yöntemi(hava, kara, deniz, demir yolu), araç takip ve ekipman seçimi faaliyetleri yer almaktadır (Çim, 2019). Süreç ürünün işletmeden çıkışı ile başlamaktadır. Son tüketiciye ulaşması ile tamamlanmaktadır (Zenginçelebi, 2013). Dağıtım Lojistiği, zincirdeki üretim sonrası kısmını ifade etmektedir. Amacı doğru ürünün, doğru zamanda, doğru miktarda, doğru yerde müşteriye ulaştırılmasını sağlamaktır (Özkan, 2015). Li ve diğerleri (2023) tarafından geliştirilen lokasyon-rotalama modeli, dağıtım lojistiği kapsamında depo yerleşimi, araç rotaları, stok maliyetleri ve karbon salınımını birlikte ele alan çok amaçlı bir yapı sunmaktadır. Önerilen sezgisel algoritma ile operasyonel maliyetler ve çevresel etkiler aynı anda minimize edilmiştir. Bu yaklaşım, lojistik planlamada çevresel sürdürülebilirlik faktörlerinin de dikkate alınması gerektiğini vurgulayarak, dağıtım süreçlerinin sadece maliyet diğil çevresel performans açısından da optimize

edilebileceğini ortaya koymaktadır.

**Tersine Lojistik:** Tedarikçilerden işletmeye getirilip üretim sürecinden geçerek son tüketiciye ulaştırılan ürünlerin bu akışta izlediği rotadaki faaliyetlerin toplamının lojistik yönetimi kapsamında incelenmektedir. Tedarikçiden son tüketiciye doğru olan akışın çevreye etkilerinin minimizasyonu ve bu akışın tam tersi istikamette izlenen rotadaki faaliyetlerin toplamı ise tersine lojistik kavramının ortaya çıkmasını sağlamıştır (Zenginçelebi, 2013). Lojistik akışının tersine çevrilmesi olarak ifade edilebilir (Özkan, 2015).

Tersine lojistiğin kapsamında paketleme malzemeleri, raf ömrü dolan ürünler, defolu ve iade edilen ürünler bulunmaktadır. Temeldeki amacı, çevresel yönetim sisteminin bir parçası olarak çevreye olan etkilerinin en aza indirgenmesidir. İşletmelerde çalışma sahalarının hijyenik hale getirilmesi, kaynak kullanımında zararlı atıkların yönetimi, rekabet üstünlüğü sağlama ve verimlilik artışı amaçları bulunmaktadır (Köse, 2018).

Lojistik yönetimi yalnızca ürün ve hizmet akışlarını yöneten bir operasyonel faaliyet değil; aynı zamanda stratejik kararların şekillendirilmesinde etkili olan, çok boyutlu bir yönetim sürecidir. Tedarik, üretim, dağıtım ve tersine lojistikten oluşan temel unsurlar, işletmelerin iç ve dış lojistik performansını doğrudan etkilemekte; maliyet, hız, esneklik ve müşteri memnuniyeti gibi kritik faktörlerde belirleyici rol oynamaktadır. Özellikle iç lojistiğin bu unsurlar arasındaki bağlantıyı kurarak üretim süreçlerine entegre edilmesi, süreçlerin sürdürülebilir ve verimli biçimde yönetilmesini mümkün kılmaktadır. Bu nedenle lojistik yönetimi, yalnızca fiziksel akışların değil; aynı zamanda bilgi, teknoloji ve stratejik planlamanın da bütünleştiği bir yapı olarak değerlendirilmelidir.

#### **1.4. Araç Seçimi ve Atama Problemleri**

Depo içi lojistik faaliyetlerin başarısı, depo dizaynı ve malzeme yerleşimi ve sınırlı kalmayıp, taşıma operasyonlarında kullanılan araçların doğru seçimi ve etkin bir şekilde atanmasına doğrudan bağlıdır. Depo içi lojistik süreçlerinde araçların doğru seçilmesi ve bu araçların operasyonlara etkin bir şekilde atanması operasyonel verimlilik, maliyet kontrolü ve zaman yönetimi açısından büyük önem taşımaktadır.

Araç seçimi ve atama problemleri, özellikle taşıma süresini azaltma, enerji tüketimini düşürme ve operasyonel kaynakların verimli kullanımını sağlama açısından büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda Murray ve Karwan (2010) tarafından önerilen model, insansız hava araçlarının (İHA) görevlere dinamik olarak eşleştirilmesini ele almaktadır;

Zaman pencereleri, yakıt temini, kaynak verimliliği gibi kısıtlar dikkate alınarak kaynakların en verimli şekilde kullanılması hedeflenmektedir. Maculan ve diğerleri (2003) özellikle bir küme bölümlendirme çerçevesinde modellenen sorunları çözmek için sütun tabanlı bir yaklaşım sunmaktadır; Alt problemler dal-maliyet yöntemi kullanılarak çözülür ve geometrik kesitler kullanılarak yeniden kolonileşme önlenir.

Enerji verimliliği ve çevresel sürdürülebilirlik bağlamında Mahmoudi ve diğerleri (2019) tarafından geliştirilen uzay-zaman-kaynak modeli; karbon emisyonlarını ve enerji tüketimini en aza indirerek ulaşım kaynaklarının seçimini ve dağıtımını optimize eder. Benzer şekilde, He ve diğerleri (2015) konteyner terminallerinde taşımacılık ve yükleme/boşaltma operasyonlarının enerji tüketimiyle birlikte planlandığı bütünleşik bir optimizasyon modeli sunmaktadır.

Elektrikli taşıma sistemlerinin gelişmesiyle birlikte Liu ve Song (2018), plug-in hibrit elektrikli kamyonlar için yola şarj altyapısının yerleştirilmesine yönelik zaman penceresi ve kullanıcı davranışına dayalı bir denge modeli geliştirmişlerdir. Li ve diğerleri (2024) ise yaptıkları çalışmada, otomatik konteyner terminallerinde kullanılan AGV'lerin görev dağılımını ve pil değiştirme zamanlamasını entegre ederek enerji verimliliğini artıran bir model önermiştir.

Roosbeh ve diğerleri (2017) çok raflı AS/RS sistemlerinde genel enerji tüketimini azaltmak için enerjiye duyarlı bir sıralama algoritması geliştirmişlerdir. Ang ve Lim (2019) ürün yoğunluğuna göre depo yerleştirme stratejilerini optimize ederek taşıma maliyetlerini azaltan bir model sunmuştur. Araç tipi-görev uyumluluğuna odaklanan çalışmalarda Min ve Lim (2023), otonom araçların fiziksel özelliklerini dikkate alan çift yönlü döngü modül sistemleri geliştirmiştir. Benzer şekilde, Mukherjee ve diğerleri (2023) iş yükü dengesini sağlamak için sipariş toplama sürecinde görev atama stratejilerini analiz etmiştir. Bortolini ve diğerleri (2015) çapraz koridorların kullanımının ulaşım süresini %12 oranında azalttığını göstermiştir. Daha sonra 2020 yılındaki çalışmalarında ise depo yerleşim yapısının ve ürün erişim stratejilerinin rolünü inceleyerek raf erişim stratejilerine göre modellenmiş araç tahsisi sunmuştur.

Bahrami ve diğerleri (2019), yedekli depo yapılarında taşımacılık için esnek tahsis ve rota stratejileri geliştirerek, araçların bölümler arasındaki rotalarını ve hareketlerini birlikte değerlendirmişlerdir. Bu çalışmayı destekleyen bir diğer örnekte ise Bottani ve diğerleri (2015) araç sayısını ve görev rotalarını aynı anda optimize eden bir model önermiş ve görev alanı eşleşmesine dayalı atama stratejileri geliştirmiştir. Manzini ve

diğerleri (2005), depolama sistemlerinde sınıf tabanlı tahsis stratejilerinin etkinliğine dikkat çekmiş ve bu stratejilerin depo operasyonlarının genel performansı üzerindeki olumlu etkilerini vurgulamışlardır.

Araçla geçilebilen depo yapıları için raf erişim sorunlarını ve araç hareketi dikkate alınarak, raf yapılarının ergonomik etkilerini analiz edilmiş ve taşıma operasyonlarının çalışanların sağlığı üzerindeki etkisini değerlendirmiştir. Araştırmaların sonucunda süreçteki hareket sayısını azaltan algoritmalar önerilmiştir (Calzavara vd., 2017; Revillot-Narváez vd., 2019). Wutthisirisart ve diğerleri (2015), düzen özellikleri ve görev atama stratejilerine odaklanarak, araç-görev eşleştirmesini hızlandırmak için sezgisel algoritmalar geliştirmişlerdir. Chen ve diğerleri (2011), AS/RS sistemlerinde tabu arama tabanlı hareket algoritmalarını sunarken, Litvak ve Vlasiov (2010), atlıkarınca sistemlerinde görev sıralama kurallarının performans üzerindeki etkisini analitik olarak değerlendirmiştir. Çok çeşitli araçların kullanıldığı ortamlarda görev uygunluğuna dayalı atama stratejilerini kullanılması nakliye süresi ve yakıt tüketimi arasında denge kurmaktadır (Cortés vd., 2017). Qin ve diğerleri (2024) AGV sistemleri için dinamik görev tahsisi sağlayan entegre bir model geliştirmişlerdir.

Montaj hattı lojistiğinde Caputo ve diğerleri (2017), iş gücü, yer kullanımı ve taşıma maliyeti gibi faktörlere dayalı politika karşılaştırmaları sunmuştur. Sari ve diğerleri (2007), AS/RS sistemlerinde vinçlerin istasyonlara atanma biçimlerinin erişim süresi üzerindeki etkisini analiz etmiştir. Shetty ve diğerleri (2020) depo içi araçlar için VRP tabanlı bir rota optimizasyon modeli önermiştir. Amjath ve diğerleri (2024), tesisler arası ulaşım sistemlerinde filo boyutunu optimize eden CQN tabanlı bir çözüm sunmuştur.

Araç atama ve seçiminde esneklik ve uyarlanabilirliğe odaklanan Mirheli (2022), dinamik görev atamasını mümkün kılan ve hızlı sistem adaptasyonunu destekleyen bir yaklaşım önermektedir. Saidi ve diğerleri (2022) sağlık lojistiği için depo yerleşimi, araç ataması ve rota optimizasyonunu LRP modeliyle birleştiren entegre bir sistem geliştirmiştir.

Araç seçimi ve görev atama kararları, depo içi taşıma operasyonlarının verimliliğini doğrudan etkileyen kritik unsurlar arasında yer almaktadır. Yapılan çalışmalarda sunulan modeller, taşıma süresinin ve maliyetinin azaltılması, kaynak kullanımının dengelenmesi ve operasyonel esnekliğin artırılması yönünde önemli katkılar sağlamaktadır. Özellikle çok kriterli karar yapılarının, enerji tüketimi, taşıma kapasitesi

ve görev önceliği gibi değişkenleri bir arada değerlendirme esnekliği sunması, gerçek depo ortamlarında uygulanabilirliği yüksek çözüm alternatifleri oluşturulmasına olanak tanımaktadır. Gelişen teknolojilerle birlikte otonom araçların, yapay zekâ destekli atama sistemlerinin ve veri madenciliği temelli algoritmaların kullanımı, bu alandaki stratejik karar verme süreçlerini daha etkin ve çevik hale getirmektedir.

### **1.5. Depo Optimizasyonu ve Araç Seçimi İçin Literatürde Kullanılan Yöntemler ve Değerlendirmeler**

Depo yönetimi ve taşıma sisteminin optimizasyonu, lojistik faaliyetlerin sürekliliği ve verimliliği açısından kritik öneme sahiptir. Bu iki operasyonel alan tedarik zincirinin en maliyetli ve emek yoğun aşamalarıdır ve müşteri memnuniyetini doğrudan etkiler. Depolama süreçleri ürün yerleştirme, depolama ve sipariş kabulü gibi temel operasyonları yönetirken, taşıma sistemleri ürünleri varış noktasına ulaştırma sürecini yönetir.

Bu iki alan literatürde genellikle ayrı ayrı ele alınsa da, son yıllarda bu süreçlerin birbirine bağımlılığı ve entegre optimizasyonlarının gerekliliği giderek daha fazla vurgulanmaya başlanmıştır.

Akademik çalışmalar, depo yerleşiminden araç rotalamasına kadar çok çeşitli karar alma problemlerini kapsamakta ve çeşitli yöntemler kullanılarak, genellikle matematiksel programlama, sezgisel algoritmalar, simülasyon modelleri ve son zamanlarda yapay zeka yöntemleri çerçevesinde çözümler sunulmaktadır. Bazı çalışmalar tek bir karar noktasına odaklanırken, bazıları ise çok seviyeli ve çok kriterli yapılar için eş zamanlı kararları hedeflemektedir. Bu bölümde, depo ve ulaştırma sistemleri optimizasyonu alanındaki yenilikçi araştırmalar tematik bir bağlamda ele alınmakta ve metodolojik yaklaşımlar ve uygulama alanları kullanılarak sistematik olarak değerlendirilmektedir.

#### **1.5.1. Depo İçi Yerleşim ve Sipariş Toplama Optimizasyonu**

Depo düzeni ve sipariş toplama stratejileri, lojistik süreçlerinin verimliliği üzerinde doğrudan etkiye sahiptir. Depo alanının verimli kullanımı, ürün yerleştirme, sipariş toplama sırası ve bu süreçte yer alan insan kaynakları, depo işletme maliyetlerini ve sipariş karşılama süresinin optimizasyonunu doğrudan etkileyen faktörlerdir. Bu nedenle literatürde bu konunun modellenmesi ve iyileştirilmesine yönelik pek çok yaklaşım geliştirilmiştir.

Calzavara ve diğerleri (2017) raf düzenlemesi yapılandırmasının manuel sipariş toplama sisteminin performansı üzerindeki etkisini ekonomik ve ergonomik açılardan değerlendirmiştir. Geliştirdikleri çok kriterli model, geleneksel palet, yarım palet ve kasa sistemlerini karşılaştırmışlardır. Ürün tipi ve sipariş özelliklerine göre optimum raf yapısını belirlemek için farklı senaryolar test edilmiştir. Çalışma, karar vericilere yalnızca mekan kullanımı konusunda değil aynı zamanda enerji tüketimi ve çalışan sağlığı konusunda da bilgi sağlayan öncü modellerden biridir.

Jane ve Laih (2005) ürünler arasındaki benzerliğe dayalı doğal kümeleme yöntemini kullanarak ürün yerleştirme problemini çözmüştür. Bu yaklaşımı kullanarak, ürün ilişkilerinden oluşan bir matrise dayalı bölgeleme stratejisinin genel toplama süresi üzerindeki etkisi analiz edilmiştir. Bu model, sipariş profillerine dayalı farklı raf düzenlerinin depo personelinin daha dengeli bir şekilde dağılmasını sağladığını göstermiştir.

Sipariş toplama sürecinde insan faktörlerine odaklanan çalışmalar arasında Grosse ve Glock (2013) tarafından yapılan çalışma öne çıkmaktadır. Araştırmacılar, çalışanların zaman içindeki öğrenme eğrilerini hesaba katan bir model geliştirerek, iş performansının doğrudan çalışan deneyiminin yanı sıra fiziksel düzen ile de ilişkili olduğunu göstermişlerdir. Bu model, özellikle yeni çalışanların eğitimi, vardiya planlaması gibi karar alma anlarında önemli sonuçlar sağlamaktadır.

Diğer taraftan, depolar içindeki trafiği düzenlemek ve tıkanıklığı önlemek için gerçek zamanlı yönlendirme sistemlerinin geliştirildiği görülmektedir. Chen ve diğerleri (2014), birden fazla sipariş toplayıcının aynı anda çalıştığı bir depoda sipariş toplama yollarını dinamik olarak değiştirmek için karınca kolonisi tabanlı bir optimizasyon algoritması önermişlerdir. Bu yapı, sipariş önceliği, raf yerleşimi, personel yoğunluğu gibi parametreleri dikkate alarak depo içindeki mal akışında darboğazların önlenmesini hedeflemektedir.

Genel olarak bu konu üzerine yapılan araştırmalar, raf yerleşiminden sipariş toplama algoritmalarına, insan faktörlerinden gerçek zamanlı rotalamaya kadar geniş yelpazede çözümler sunarak, depo karar alma mekanizmalarının bütünsel bir bakış açısıyla ele alınması gerektiğini vurgulamaktadır.

### ***1.5.2. Araç Seçimi ve Taşıma Rotalarının Planlanması***

Taşımacılık sistemi, lojistik zincirinin ayrılmaz bir parçası, depo operasyonlarının dışı açılan yüzüdür. Araç tipi seçimi, rota belirleme, görev dağılımı ve zamanlama gibi karar

faktörleri, ulaşım maliyetlerinin düşürülmesinde ve hizmet kalitesinin artırılmasında kritik rol oynamaktadır. Bu nedenle ulaşım planlaması literatürde en yoğun araştırılan alanlardan biridir.

He ve diğerleri (2015) konteyner terminallerinde vinç ve iç araç planlamasını aynı anda optimize etmek için entegre bir model geliştirmiştir. Bu model, taşıma görevlerinin başlangıç ve bitiş zamanları, kaynak kapasiteleri ve görev öncelikleri gibi kısıtları dikkate alarak taşıma süresi ile kaynak kullanımı arasındaki dengeyi optimize etmektedir. Bu yaklaşım, karmaşık ulaşım ağlarının entegre yönetimine olanak tanınmaktadır.

Cacchiani ve diğerleri (2010), demir yolu taşımacılığında çok sınırlı kapasite altında tren ünitesi tahsisi sorununa yönelik bir tamsayı programlama modeli önermiştir. Bu çalışmada, hem tren oluşumu hem de güzergah kararlarını dikkate alan ve sezgisel olarak birden fazla tren tipinin seçimini ve iş dağılımını destekleyen sayısal bir yöntem sunulmuş olup çalışma, gecikmeleri en aza indirmek için ulaşım kapasitesinin uygun şekilde tahsis edilmesinin önemini vurgulamaktadır.

Sürdürülebilir kalkınma yaklaşımı özellikle çevresel etkiyi azaltmaya yönelik çözümler sunmasıyla öne çıkmaktadır. Lin ve diğerleri (2019) karayolu taşımacılığında karbon emisyonlarını en aza indirmek için çok rotalı araç rotalama modeli geliştirmiştir. Araç rotalama sürecinde çevresel etkileri, zamanı ve ulaşım maliyetlerini aynı anda değerlendirerek mevcut modellerin sınırlı bakış açılarının ötesine geçen bir çerçeve önerilmiştir.

Gelişmiş ulaşım çözümleri bağlamında, Sajid ve diğerleri (2022) insansız hava aracı (İHA) teslimat sistemleri için enerji ve zaman verimliliğini dengelemek üzere bir model geliştirmiştir. Belirsizlik altında çalışan sistemlerde görev tahsisi ve yol optimizasyonu gibi problemler çok kriterli çerçeveler ve sezgisel yöntemler kullanılarak çözülmektedir. Bu çalışmalar, otonom sürüş sistemlerinin hem kentsel hem de kırsal alanlardaki lojistik operasyonlarında etkin bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir.

Bunun sonucunda ulaştırma sistemlerine ilişkin literatür, çevresel etkiler, dijitalleşme, kaynak esnekliği ve operasyonel performans gibi faktörleri dikkate alan bütünsel modellemeyi de içerecek şekilde çeşitlenmiştir. Bu çalışmalar, araç tipi, rota ve zaman kararlarının ayrı ayrı değil, birlikte optimize edilmesi gerektiğini açıkça göstermektedir.

### ***1.5.3. Bütünsel Depo ve Taşıma Sistemleri***

Son yıllarda, depolama kararları ve taşıma süreçlerini birlikte ele alan bütünsel

optimizasyon modelleri literatürde giderek daha fazla ilgi görmektedir. Bu yaklaşımın temelinde raf yerleşimi, sipariş işleme, iş ataması ve nakliye rotalarının birbirine bağımlı olduğu düşüncesi yatmaktadır. Çeşitli çalışmalar, ayrı ayrı optimize edilmiş karar noktalarının genel sistem performansı üzerinde sınırlı bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Oysa bütünleşik bir model kullanılarak çok daha büyük bir verimlilik elde edilebilir.

Nikzad ve diğerleri (2021), evde sağlık hizmetleri bağlamında görev dağılımı, alan planlaması ve rota oluşturma süreçlerini birlikte ele alan olasılıksal bir model geliştirmişlerdir. Model, çeşitli senaryolarda hizmet süresi, mesafe ve kaynak kullanımı gibi kriterleri optimize ediyor ve birden fazla eş zamanlı karar alma sürecinin verimliliğe olan etkisini gösteriyor. Bu çalışmada, özellikle dağıtık hizmet sistemlerinde bütünleşik planlamanın gerekliliği vurgulanmaktadır.

McFarlane ve diğerleri (2016), müşteri merkezli akıllı bir lojistik sistemi geliştirme bağlamında raf düzeni ve taşıma sisteminin bütünleştirilmesini önermiştir. Araştırma sonuçları, akıllı bir depo ortamında esnek yönlendirme algoritmalarının uygulanmasının yalnızca hizmet seviyelerini iyileştirmekle kalmayıp aynı zamanda sistem kaynaklarının daha dengeli kullanılmasını da sağladığını göstermektedir.

Dijital tabanlı bir yaklaşım bu entegrasyonu daha da genişleterek yapay zekanın, büyük veri analitiğinin ve IoT teknolojilerinin depo ve depo dışı süreçlere nasıl entegre edilebileceğini analiz etmiştir (M. Yang vd., 2021). Bu çalışma, özellikle gerçek zamanlı verilerden yararlanan karar destek sistemlerinin bütünleşik bir optimizasyon çerçevesinde nasıl kullanılabileceğine dair bir temel sunmaktadır. Bu bağlamda dijital teknolojilerin sadece izleme ve raporlamaya değil, aynı zamanda aktif karar alma süreçlerine de entegre edilmesinin önemi vurgulanmaktadır.

Barenji ve diğerleri (2019) ise çok aşamalı bir ajan tabanlı sistem geliştirmiştir. Sistem e-ticaret lojistik komplekslerinde depo ve nakliye planlamasının senkronize edilmesini amaçlamaktadır. Bu model, depo operasyonlarını, araç rotalarını ve teslimat sürelerini dikkate alarak gerçek zamanlı karar alma süreçlerini simüle etmektedir. Bu mimari, hızla değişen çevre koşullarına uyum sağlayabilen ve yüksek esnekliğe sahip yeni nesil entegre bir sistemi temsil etmektedir. Bu bütünleşik model, depo düzenini ve taşıma sürecini iki ayrı alt sistem olarak ele almak yerine, bunları tek bir etkileşimli karar ağı olarak ele almaktadır. Bu sayede lojistik operasyonlar daha tutarlı hale gelmekte olup, kaynak kullanımı daha dengelenerek hizmet seviyeleri iyileştirilmektedir. Literatürdeki bu eğilimler, gelecekteki lojistik planlamasının da entegre modelleme etrafında

şekilleneceğini düşündürmektedir.

### **1.6. Literatürdeki Boşluklar ve Bu Çalışmanın Katkıları**

Literatürde sunulan depo ve taşımacılık sistemi yönetimi çalışmaları, operasyonel verimliliği artırmak ve zaman ve maliyet faktörlerini optimize etmek için çeşitli modelleme ve çözüm yaklaşımları önermektedir. Bu çalışmalar tedarik zinciri yönetiminin mikro düzeydeki dinamiklerini inceleyerek raf yerleştirme, sipariş toplama stratejileri, araç seçimi ve rota planlama gibi alt bileşenlere odaklanmaktadır. Ancak bu çalışmalar esas olarak belirli karar alma alanlarına odaklanmakta olup, süreçler arası entegrasyonun sınırlı olduğunu ve optimizasyon yapılarının uygulama koşullarına uyacak kadar esnek olacak şekilde tasarlanmadığını göstermektedir. Bu bağlamda, literatürde sunulan modellerin birçoğunun sınırlı parametre setiyle geliştirildiği, zayıf senaryo temsillerine sahip olduğu ve karar alma sürecini bütünsel bir çerçevede ele almadığı görülmektedir. Bu durum akademik alanda hala kapatılması gereken metodolojik bir boşluğun varlığını ve uygulamalı katkılara ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir.

#### **1.6.1. Literatürdeki Boşluklar**

Literatürde depolama süreçlerine odaklanan çok sayıda çalışma olmasına rağmen, depolama sistemlerinin taşımacılık süreçleriyle birlikte değerlendirilmesine yeterli önem verilmediği görülmektedir. Sipariş toplama yollarını iyileştirmek için geliştirilen algoritmalarda araç tipi, çalışma saatleri, enerji tüketimi gibi karar alanları dışsallaştırılmıştır (Chen vd., 2013; Chen vd., 2014; Gao vd., 2021; Grosse ve Glock, 2013; Grosse vd., 2013; Jane ve Lai, 2005; Roodbergen ve Vis, 2006). Bu sistemler sadece depo verimliliği kriterlerine odaklanmaktadır. Bu durum, taşıma kapasitesi ve rota planlaması gibi kararların depo verimliliği üzerindeki etkisini analiz etmekten uzaktır.

Öte yandan bazı çalışmalarda taşımacılık süreci detaylı bir şekilde modellenmiş ancak depolama operasyonları ile bütünleştirilmemiştir. Araç seçimi, görev ataması ve zamanlama gibi kararların optimize edildiği çalışmalarda (Cacchiani vd., 2010; He vd., 2015; Lin vd., 2019; Nguyen vd., 2016; Sajid vd., 2022) modellerde raf yapısı, sipariş gruplaması, depo alanlarının fiziksel düzeni gibi unsurlar yer almamaktadır. Dolayısıyla hem taşıma hem de depolama süreçlerini aynı anda yönetmek için gereken bütünsel yaklaşım bu modellerde yeterince temsil edilememektedir.

Diğer taraftan, bütünleşik modelleme çabalarını içeren bazı önemli çalışmalar olmasına rağmen, bu modeller genellikle tek bir amaç fonksiyonuna veya sabit koşullara dayalı çözümler bulmakla sınırlı kalmaktadır. Depolama ve taşıma süreçlerinin birlikte modellemeye çalışıldığı araştırmalardaki (Barenji vd., 2019; McFarlane vd., 2016; Nguyen vd., 2016; Nikzad vd., 2021; M.-F. Yang vd., 2021; M. Yang vd., 2021) yetenekler çoğunlukla sabit iş yükleri, önceden tanımlanmış görev süreleri ve dinamik olmayan parametre kümeleri düzeyinde kalmıştır. Ayrıca bu modeller, karar vericinin önceliklerine göre ağırlıklandırılmış çok kriterli bir yapının bulunmaması durumunu da ortaya koymaktadır. Çözümlere yaklaşımda gözlemlenen bir diğer çarpıcı metodolojik fark, literatürde pek çok çalışmada tamsayı programlama, karınca kolonisi optimizasyonu, genetik algoritmalar gibi yöntemler kullanılarak çözüm aranmasıdır. Ancak bu yöntemler genellikle sadece mesafeyi veya zamanı en aza indirmek gibi tek taraflı hedeflere odaklanmıştır. Senaryo tabanlı analiz ile çok kriterli çerçeveyi birleştiren modeller sınırlı sayıdadır. Bu durum, depolama ve taşıma sistemlerinin karmaşık özelliklerine uyum sağlayabilen esnek yapıları sınırlandırmaktadır.

#### **1.6.2. Çalışmanın Katkıları**

Bu tez çalışması, depo içi optimizasyon ve taşıt seçimi konusunda metodolojik ve pratik eksiklikleri gidermeyi amaçlayan kapsamlı bir yaklaşım sunmaktadır. Öncelikle ürün yerleştirme, sipariş toplama rotaları gibi depo optimizasyon kararları ve araç tipi seçimi, çalışma süresi gibi taşıma kararları tek bir modelde birleştirilmiştir. Bu şekilde, depo ve taşımacılık sistemleri arasındaki etkileşimin sıklıkla göz ardı edilen yönlerini matematiksel olarak temsil ederek, optimizasyon sürecine entegre edilmektedir. Bu bağlamda, bu çalışma Cacchiani ve diğerleri (2010), Grosse ve Glock (2013) ile Chen ve diğerleri (2014) tarafından yapılan sınırlı kapsamlı çalışmalardan farklı, çok boyutlu bir sistem yaklaşımı önermektedir. İkinci olarak, geliştirilen model çok kriterli bir yapıya sahip olup, bu mimari, mesafe ve zamanın yanı sıra enerji tüketimi, güç dengesi, araç verimliliği ve depo işgücü kullanımı gibi birden fazla performans kriterinin aynı anda optimize edilmesini mümkün kılmaktadır. Bu yaklaşım, Calzavara ve diğerleri (2017) ile Lin ve diğerleri (2019) tarafından önerilen tek boyutlu optimizasyona kıyasla daha dengeli bir karar alma ortamı yaratmaktadır.

Üçüncü katkı ise bu modelin uygulanabilirliği yüksek bir yapıya sahip olmasıdır. Çalışma gerçek veri setlerine dayalı olarak yürütülmüştür. Farklı iş yükü durumlarını test etmek ve modelin esnekliğini ölçmek için senaryo tabanlı analiz kullanılmıştır. Bu

çerçeve, sabit parametre kümesine dayalı birçok çalışmanın aksine, uyarlanabilir bir optimizasyon çözümü sunmaktadır. Bu çalışmada önerilen modelde Barenji ve diğerlerinin (2019) çalışmasındaki gibi çok katmanlı karar alma düzeyleri tanımlanmıştır ancak bu yapı daha açık, sistematik ve karar verici bir şekilde yapılandırılmıştır.

Bu tez çalışmasında bütünleşik modelleme çabalarının daha ileri düzeyde sistematize edilmesi (Nikzad vd., 2021; M. Yang vd., 2021) yaklaşımı dikkate alınarak iki aşamalı bir yapı önerilmektedir. Bu yapı ile öncelikle depo yerleşimine yönelik çözümleri, ardından da taşıma sistemine yönelik çözümleri modelleme olanağına elde edilmiştir. Bu mimari, sistemin iki bileşenini ayrı ayrı optimize etmek yerine, kararların etkileşimli olarak alınmasını sağlamıştır.

## BÖLÜM 2.YÖNTEM VE ARAŞTIRMA MODELİ

İç lojistik, hammaddelerin ve yarı mamul ürünlerin depolar, üretim tesisleri ve montaj hatları arasında etkin bir şekilde taşınmasını içermektedir. İç lojistik süreçleri, birçok bileşenin uyum içerisinde çalışmasını gerektiren karmaşık yapılar olarak dikkat çekmektedir. Süreçlerin etkin bir şekilde yönetilememesi üretim verimliliğinin düşmesine ve gereksiz maliyet artışlarına neden olacaktır. Depolama, dağıtım ve malzeme akışının etkin bir şekilde yönetilememesi, tüm üretim zincirini etkileyerek zaman kaybı, aşırı enerji tüketimi ve artan işletme maliyetleri gibi olumsuz etkilere yol açabilir.

Bu nedenle sorunun temel nedenini tespit etmek ve optimize edilmiş bir çözüm geliştirmek çok önemli bir zorunluluk haline gelmiştir. Araştırmanın temel odak noktası lojistik akışının iyileştirilmesi ve kaynak kullanımının optimize edilmesidir.

İç lojistik tasarımı, üretim, taşıma ve depolama faaliyetlerini içeren iç lojistik sistemlerinde lokasyon sayısı, yerleşim yerleri ve kapasitelerin belirlenmesi, taşıma ve depolama miktarlarının planlanması gibi süreçleri içermektedir. Bu süreçleri yönetmeyi destekleyen birçok ürün, hizmet ve bilgi akışını yapılandırmayı amaçlar. İç lojistik problemleri çok kriterli karar verme ihtiyacını içerir ve genellikle dinamik ve stokastik özelliklere sahiptir. Bu tür durumlarda, genellikle problem bütününe tam bir matematiksel modeli oluşturulamaması nedeniyle problem parçalara ayrılarak çözümlenir.

Bir imalat şirketinde öncelikle belirli bir depodaki her hammaddenin dağıtımı için hangi raf adresine atandığını belirlemelidir. Raf adresleme problemi çözüldükten sonra taşıma problemini çözümlenmelidir. Taşıma problemi, belirli bir raf adresindeki her bir hammaddenin atölyelere taşınması için kullanılacak en kısa mesafeyi belirlemeyi amaçlamaktadır. İyi bir taşımanın maliyeti minimum olmalı ve her bir hammaddenin cinsine ve talep miktarına göre yapılmalıdır. Bu nedenle raf adresleme ve taşıma süreci, tüm dağıtım planlama sürecinin kritik bir parçasıdır. Bu tezde raf adresleme işleminin taşıma problemi ile eş zamanlı çözümlenmesi ile bir sonraki aşamadaki taşıt tipi seçimi probleminin çözümü için gerekli veriler elde edilecektir.

Taşıma probleminde hammaddelerin depodaki yerleşimindeki değişkenlik, dağıtım yapılacak olan hammaddenin bulunmasını zorlaştırmaktadır. Bu nedenle raf yerleşimi deterministik olarak modellenir. Raf bölmeleri deponun raf kapasitesine bağlıdır.

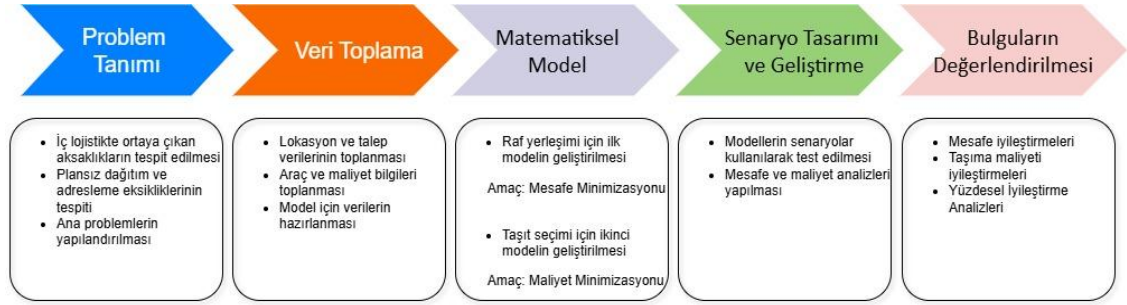
Depodaki depolamaya hazır olan raf bölmelerinin sayısındaki değişim, hammadde yerleşiminin optimum esneklikte yapılmasına olanak sağlar. Bu durumun, taşıma maliyetinin minimizasyonu için olası çözümlerin kalitesini iyileştirici etkisi vardır.

Modelde hammaddelerin, depo içindeki raf bölmelerinden atölyelere taşınması için stoklanması gereken en uygun raf yerleşimini hesaplayarak taşıma maliyetini minimize edilmesi amaçlanmaktadır. Uygun raf yerleşiminin belirlenmesi ile taşıt tipi seçimi probleminin çözümü için gerekli girdiler de elde edilecektir. Taşıma işlemleri için kullanılacak taşıt tipleri, işletmenin ekipman politikasına göre değişkenlik gösterebilir. Taşınacak hammaddenin tipine göre uygun olan taşıt tipinin kullanılması maliyet açısından çok kritik bir parametredir. Bu durumlar çerçevesinde bu tez çalışmasındaki problem; depo içi raf yerleşimi belirsizliği durumunda Taşıma problemini etkili bir şekilde çözmek için, raf adresleme kararları ile lokasyonlar arasındaki taşıma mesafelerini dikkate alarak, en uygun maliyetli taşıt tipi seçimi için yeni ve entegre bir yaklaşım sunmaktadır.

Bu tez çalışmasında, Şekil 1’de görüldüğü gibi iç lojistik süreçlerinin verimliliğini artırmak için beş aşamalı bir araştırma modeli geliştirilmiştir. İşletmenin mevcut iç lojistik yapısı analiz edilerek, taşımacılık, yerleştirme ve dağıtım faaliyetlerinde ortaya çıkan sorunlar tespit edilmiş ve buna göre sorunun kapsamı ortaya konulmuştur. Daha sonra modelin ihtiyaç duyduğu verileri sağlamak için saha veri toplama süreci gerçekleştirilmiştir; Lokasyon bilgileri, malzeme talep miktarları, taşıma araçlarının teknik özellikleri ve maliyet verileri sistematik olarak derlenmiştir. Modelin ilk aşamasında hammaddelerin en uygun şekilde depo raflarına yerleştirilerek nakliye mesafesinin azaltılması hedeflenirken, ikinci aşamasında ise bu hammaddelerin en uygun nakliye araçlarıyla en düşük maliyetle atölye ve montaj hatlarına ulaştırılması hedeflenmiştir. Üçüncü aşamada elde edilen veriler dikkate alınarak iki aşamalı bir optimizasyon modeli oluşturulmuştur. Model karma tam sayılı doğrusal programlamaya dayanmaktadır. Dördüncü aşamada geliştirilen modelin performansı senaryo tabanlı testler kullanılarak toplam taşıma mesafesi ve enerji maliyetleri açısından değerlendirilmiştir; Elde edilen sonuçlar önerilen yaklaşımın operasyonel verimliliği artırmada etkili olduğunu göstermiştir. Beşinci ve son aşamada ise senaryo tabanlı analizlerin sonuçları mesafe, taşıma maliyeti boyutları ile ortaya konulmuştur. Modelin tüm varyantları bütüncül bir bakış açısı ile ele alınarak yüzdesel iyileştirme analizleri yapılmıştır.

## Şekil 1

### Araştırma Modeli



### 2.1. Problem Tanımı

Üretim sürecinde iç lojistik aşaması, yöneylem ve üretim optimizasyonunda üzerinde en fazla durulan ve kayıpların en fazla yaşandığı alanların başında gelmektedir. Üretim tesislerinde iç lojistik, hammadde ve yarı mamullerin depo, üretim ve montaj alanları arasında etkin bir şekilde taşınmasını içerir. Bu süreçte plansız operasyonlar, nakliye sürelerinin artmasına, enerji verimliliğinin düşmesine ve genel üretim verimliliğinin olumsuz etkilenmesine neden olmaktadır. İncelenen işletmede, üç lojistik kapı kullanılmakta; ancak bu kapıların hangi atölyeye tahsis edileceği, hangi araçla taşınacağı gibi konular net olarak planlanmamıştır. Ayrıca depoya malzeme yerleştirmek için standart bir raf adresleme sisteminin olmaması, malzemelerin aranması ve taşınması için gereken süreyi artırarak, emek ve enerji israfına neden olmaktadır. Mevcut durum hem kaynak kullanımında hem de operasyonel süreçlerde ciddi verimsizlikler yaratılmaktadır. Bu bağlamda, iç lojistik akışının sistemsal bir yaklaşımla modellenmesi, raf yerleşimi ve taşıma planlamasının bütünsel bir şekilde optimize edilmesi gerekmektedir. Mevcut sistemin analizi sonucunda aşağıdaki temel sorunlar belirlenmiştir:

- Çalışmada aşağıdaki varsayımlar değerlendirilmeye alınmıştır.
- Depodan imalat atölyelerine ve montaj hattına verilen malzemeler belli bir gruplandırma yapılmadan taşıma araçlarına yüklenmektedir.
- Hammadde ve parçaların taşıma araçlarına yüklenmesi atölyelerin anlık talebine göre yapılmaktadır, günlük olarak verilmesi gereken parça seti ve miktarları oluşturulmamıştır.
- Raf adresleme olmadığı için depodan talep edilen hammaddenin aranması sırasında zaman kaybı yaşanmaktadır.

- Dağıtım operatörlerinin birbirleriyle koordineli şekilde hareket etmelerine rağmen operatörlerin zaman zaman aynı makine ve hatlara uğraması ve zaman kayıpları oluşmaktadır.
- Malzemelerin dağıtımı için depo bölümüne özelleştirilmiş bir dağıtım planı yapılmamıştır. Dağıtım işlemi için operatörler fabrikanın bilgisayar sisteminin listesindeki bilgilere göre malzemeleri imalat atölyelerine ve montaj hattına götürmektedirler.
- Malzemeler taşıma araçlarına atölyelerin anlık taleplerine göre yüklendiği için dağıtım işlemi sırasında araçlarda malzemelerin aranması, yanlış malzemenin yüklenmesi veya yanlış atölyeye taşınma durumları ile karşılaşmaktadır.

#### **2.1.1. Problemin Kapsamı ve Sınırlılıklar**

Bu çalışmanın kapsamı incelenen imalat tesisinin iç lojistik lokasyonları ile sınırlıdır. Çalışmada sadece depo, üretim atölyeleri ve montaj hatları arasındaki malzeme akışı değerlendirilmiştir. Problemin kısıtları, taşıma operasyonlarında kullanılan hammadde türleri ve kullanılan araç türleri açısından belirlenmiştir. Modelleme süreci kapsamında aşağıdaki varsayımlar dikkate alınarak analizler gerçekleştirilmiştir:

- Çalışmada aşağıdaki varsayımlar değerlendirilmeye alınmıştır.
- Yerleşim planı üzerinde değişiklik yapılmadantaşıma sistemi iyileştirilmektedir.
- Lokasyonların birim zamandaki arz ve talep miktarı sabit olarak alınmıştır.
- Araçların hareketleri esnasında trafik sıkışıklığı olmamaktadır.
- Malzeme taşıma araçları arıza vermemektedir.
- Malzeme taşıma araçları 3 farklı tiptedir.
- Taşıma işlemini yapacak yeterli sayıda araç mevcuttur.
- Malzeme talep miktarları günlük 8.000 adetlik bitmiş ürün üretimi yapılacak şekilde hesaplanmıştır.

#### **2.1.2. Mevcut Durum Analizi**

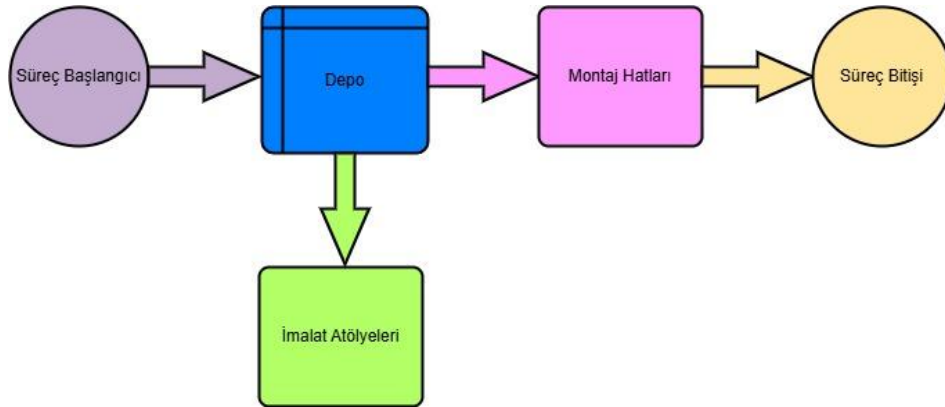
Bu bölümde işletmenin mevcut iç lojistik yapısı fiziksel ve operasyonel boyutlarıyla analiz edilmiştir. Araştırma kapsamında incelenen imalat işletmesinin iç lojistik sistemi şu şekilde tasarlanmıştır; Depo, İmalat Atölyeleri, Montaj Hatları olmak üzere üç temel

lokasyon bulunmaktadır. Montaj hatları ve imalat atölyeleri fiziksel olarak birbirinden ayrı konumlandırılmıştır. Satın alınan hammaddeler Depo bölümünde fabrikaya kabul edilmektedir. Günlük periyotlarla ilgili atölyenin ihtiyacı kadar malzeme depodan atöyelere ve montaj hatlarına verilmektedir. Fabrikada üretilen ürünlerin malzemeleri tek bir depoda stoklanmaktadır. Depodaki malzemelerin bir kısmı imalat atölyelerine, bir kısmı ise montaj hatlarına gönderilmektedir.

İşletmedeki hammaddeler anlık talebe göre plansız bir şekilde taşınmaktadır. Depo içinde raf sistemi bulunmaktadır. Bu raf sisteminde raf bölmelerine hangi hammaddenin konulacağı anlık olarak belirlenmektedir. Dağıtım operatörleri arasındaki koordinasyon eksikliği zaman kaybına ve verimliliğin azalmasına neden olmaktadır. Yanlış malzeme yükleme veya yanlış yere teslim etme gibi hatalar da sıklıkla yaşanmaktadır. Ayrıca, depo için özelleştirilmiş bir dağıtım planının olmaması, operatörlerin gereksiz fazla malzeme stoklamasına neden olmaktadır. Ek olarak mevcut taşıma sürecinde enerji tüketimini ve maliyetleri en aza indirecek bir optimizasyon stratejisi olmadığından şirket kaynakları verimsiz kullanılmaktadır.

## Şekil 2

### Malzeme Akışı



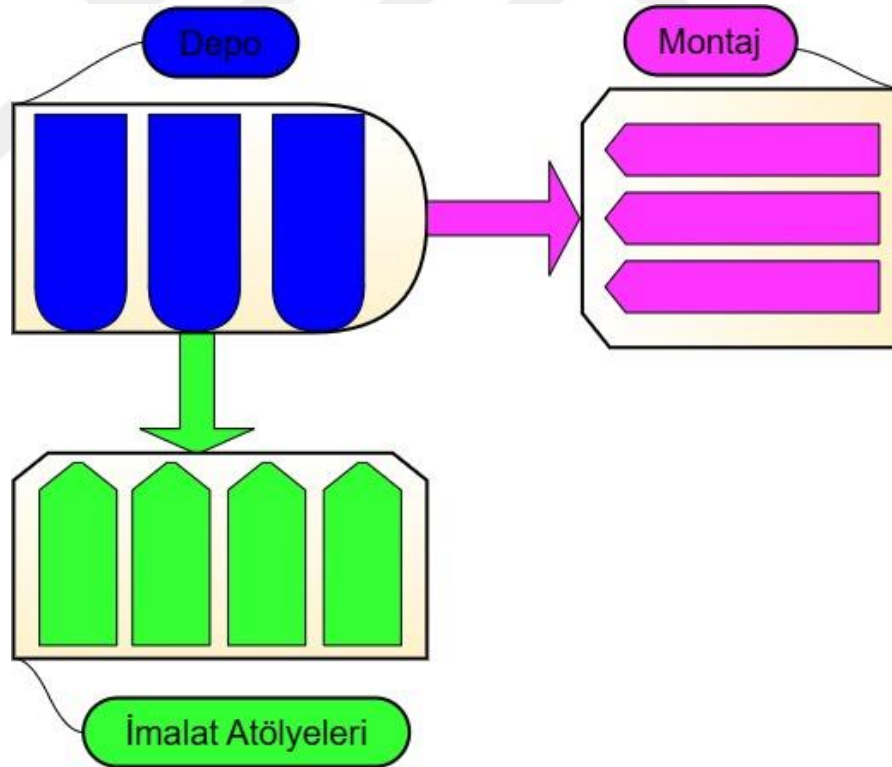
Uygulamada depodan imalat atölyelerine ve montaj bölümlerine verilen hammaddelerin dağıtımını değerlendirilerek çalışma yapılmıştır. Lokasyonların kapıları kullanılarak diğer bölümlere geçişler sağlanmaktadır. Depoya ait üç adet giriş-çıkış kapısı bulunmaktadır. Bunlar DK1, DK2 ve DK3 olarak ifade edilmiştir. İmalat Atölyelerine ait beş adet giriş-çıkış kapısı mevcuttur. AK1, AK2, AK3, AK4 ve AK5 olarak adlandırılmışlardır. Montaj hattı için MK1 ve MK2 olarak kodlanmış iki kapı bulunmaktadır.

Şekil 2, depo, üretim alanları ve montaj hatları arasındaki temel malzeme akışının şemasını göstermektedir. Mevcut durumda depo personeli depoda bulunan

hammaddelerin imalat atölyelerine taşınmasını sağlamaktadır. Hangi hammaddenin imalat atölyesine verilmesi gerektiği bilgisi işletmede kullanılan bilgisayar sisteminden depo personeline liste olarak verilmektedir. Burada dikkate alınan nokta bitmiş ürün talebi doğrultusunda belirlenmiş dağıtım yapılacak hammaddelerin listesidir. Malzeme ihtiyaç listesinden hareketle oluşturulan listede her bir hammaddenin hangi atölyede, hangi miktarda ihtiyacının olduğu bilgisi yer almaktadır. Hammaddeler atölyeye verilirken palet kullanılarak rulo olarak verilmektedir. Bu durum ihtiyaç fazlası hammaddenin atölyeye verilmesi sonucunu doğurabilmektedir. Depo bölümünde bulunan dağıtım operatörleri birbirleriyle koordineli şekilde hareket etmektedir. Ancak zaman zaman operatörlerin aynı makine ve hatlara uğramasına ve zaman kayıplarına sebep olmaktadır. Bu sürecin daha iyi anlaşılması için aşağıdaki şekil, hammadde dağıtımının genel akışını gösteren bir yapı sunmaktadır.

### Şekil 3

*Taşıma Diyagramı*



Depo, işletme dışından tedarik edilen hammaddelerin imalat atölyelerine ve montaj hatlarına dağıtımının gerçekleştirildiği birimdir. İmalat Atölyeleri, depodan gelen hammaddeler yarı mamul özelliklerine göre makinalarda basıldığı birimlerdir. Makinalarda basım işlemi biten hammaddeler yarı mamul haline gelmektedir. Montaj Hatları depodan gelen hammaddelerin özelliklerine göre bir kısmının yarı mamul haline

getirildiği, bir kısmının da başka parçalarla bir araya getirilerek yarı kompleler oluşturulduğu imalat lokasyonlarıdır. Montaj hattında işlemleri tamamlanan yarı kompleler, depodan gelen diğer parçalar ile proses sırasına göre bir araya getirilmektedir. Şekil 3'te görüldüğü gibi montaj işlemleri sonrasında test işlemleri tamamlanan ürünler çalışma talimatlarına göre paketleme işlemlerinden geçirilmektedir.

## **2.2. Veri Toplama**

Bu bölümde, araştırmada kullanılan verilerin elde edilme süreci açıklanmakta; veri kaynakları, toplama yöntemleri ve sürecin kapsamı ortaya konmaktadır. Çalışmadaki veri toplama süreci, incelenen firmanın iç lojistik yapısının saha gözlemleri, çalışanlarla yapılan görüşmeler ve firmanın iç bilgisayar sistemlerinden elde edilen veriler yoluyla gerçekleştirilmiştir. Ayrıca tesis yerleşim planları ve üretim dokümanları da kaynak olarak kullanılmıştır. Toplanan veriler arasında lokasyon bilgileri, imalat atölyelerinin ve montaj hattının talep miktarları, taşıt kapasiteleri ve enerji tüketim değerleri bulunmaktadır. Lokasyonlar arası mesafeler tesis yerleşimi incelenerek belirlenmiş olup, modelde mesafe parametresi olarak kullanılmıştır.

Lokasyon bilgileri ve talep miktarları doğrudan sistem çıktısından elde edilirken, lokasyonlar arası mesafeler tesis çizimleri üzerinden manuel ölçümlerle belirlenmiştir. Taşıt Kapasiteleri ve Enerji Tüketim Değerleri kullanılan taşıtların marka ve modeline göre teknik özellikler listesinden elde edilmiştir. Enerji Tüketim Değerlerinin maliyet bilgileri ise kullanılan enerji biriminin 02.12.2024 tarihli akaryakıt fiyatları, elektrik birim maliyeti ve asgari ücret üzerinden personel birim saat maliyeti üzerinden hesaplanmıştır.

### **2.2.1. Lokasyon Bilgileri**

Malzeme taşıma işleminin gerçekleştiği üç temel lokasyon; depo, imalat atölyeleri ve montaj hattıdır. Üretim alanındaki hammaddelerin kullanıldığı istasyonların birbirinden farklı olması nedeniyle, işletme yöneticileri kararı ile hammadde akışını artırmak, üretim bekleme sürelerini azaltmak ve iş sürecini daha verimli hale getirmek amacıyla bu lokasyonlarda iki veya daha fazla kapı kullanılmaktadır. Bu sayede nakliye güzergahında oluşabilecek yoğunluk en aza indirilmiş, malzeme hareketi daha eşit dağıtılmış ve üretim süreci aksamadan ilerleyebilmiştir. Bu nedenle ilk adımda her bir lokasyona ait kapılara kod numarası verilmiştir. Her bir lokasyonun kapıları sistematik olarak kodlanmıştır.

Bu çalışmada incelenen toplam 21 farklı hammadde, analiz ve modelleme sürecinde sistematik olarak kodlanmıştır. Malzemeler H1–H9, İP01–İP05, SP01–SP05 ve SARF01 olmak üzere dört grup halinde tanımlanmıştır. Dağıtımı yapılacak hammaddelerin üretim süreçlerindeki kullanım noktalarına göre lokasyon bazlı dağılımı aşağıda belirtilmiştir:

- Tedarikçiden Depo bölümüne toplamda 21 adet hammadde gelmektedir.
- Depo bölümündeki H2, H3, H4, H5 kodlu hammaddeler İmalat Atölyelerine gönderilmektedir.
- Depo bölümündeki H1, H6, H7, H8, H9, İP01, İP02, İP03, İP04, İP05, SP01, SP02, SP03, SP04, SP05 ve SARF01 kodlu hammaddeler doğrudan montaj hatlarına verilmektedir.

Depoya gelen hammaddelerin belirli gruplara ayrılarak üretim atölyeleri ve montaj hatları arasında dağıtımı Tablo 1’de detaylı olarak gösterilmektedir.

**Tablo 1**

*Lokasyon Bilgileri*

| Lokasyon Adı      | Lokasyon Kapı Kodu |
|-------------------|--------------------|
| Depo              | DK1                |
|                   | DK2                |
|                   | DK3                |
| İmalat Atölyeleri | AK1                |
|                   | AK2                |
|                   | AK3                |
|                   | AK4                |
|                   | AK5                |
| Montaj            | MK1                |
|                   | MK2                |

Bu çalışmada, depo, imalat atölyeleri ve montaj hatları olmak üzere üç ana lokasyon arasında verimli bir taşıma süreci sağlamak için kapı düzenlemeleri ve malzemelerin dağıtımı belirlenmiştir. Her lokasyon için tanımlanan kapı kodları ve taşınacak hammaddeler modelde kullanılmak üzere sistematik olarak gruplandırılarak yapılandırılmıştır.

### **2.2.2. İmalat Atölyelerinin ve Montaj Hattının Talep Miktarları**

Günlük 8.000 adet mamulün üretimini sağlayabilmek için üretim atölyelerinde ve montaj hattında ihtiyaç duyulan hammadde ve yarı mamul miktarları belirlenmiştir. Bu

hacimler üretim planlaması ve sistem çıktılarına uygun olarak oluşturulmuş ve modelde talep parametresi olarak kullanılmıştır. Her üretim biriminin günlük ihtiyacını temsil eden değerler Tablo 2’de sunulmuştur.

**Tablo 2**

*İmalat Atölyelerinin ve Montaj Hattının Talep Miktarları*

| Talep Eden Lokasyon      | Malzeme Kodu | Talep Miktarı |
|--------------------------|--------------|---------------|
| <b>Montaj</b>            | H1           | 8 Kg          |
|                          | H6           | 1,6 Kg        |
|                          | H7           | 1 Kg          |
|                          | H8           | 204 Kg        |
|                          | H9           | 13 Kg         |
|                          | İP01         | 16.000 Adet   |
|                          | İP02         | 8.000 Adet    |
|                          | İP03         | 8.000 Adet    |
|                          | İP04         | 8.000 Adet    |
|                          | İP05         | 8.000 Adet    |
|                          | SP01         | 8.000 Adet    |
|                          | SP02         | 16.000 Adet   |
|                          | SP03         | 8.000 Adet    |
|                          | SP04         | 8.000 Adet    |
|                          | SP05         | 800 Adet      |
|                          | SP06         | 66 Adet       |
|                          | SARF01       | 1 Kg          |
| <b>İmalat Atölyeleri</b> | H2           | 208 Kg        |
|                          | H3           | 6,2 Kg        |
|                          | H4           | 172 Kg        |
|                          | H5           | 21 Kg         |

### 2.2.3. Taşıt Kapasiteleri

Modelde kullanılan taşıma süreci üç farklı tip taşıt aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. Bu taşıtlar; forklift, transpalet ve malzeme taşıma arabasıdır. Her taşıt tipi, farklı malzeme ve taşıma ihtiyaçlarına uygun olarak seçilmiştir.. Taşıma kapasiteleri göz önüne alındığında bir forklift 2 ton, bir transpalet 1,6 ton, bir malzeme taşıma arabası ise 300 kg yük taşıyabilmektedir.

Araçların teknik kapasiteleri, ilgili marka ve model üreticilerinin verileri esas alınarak belirlenmiş ve modelde yük kapasitesi kısıtları olarak kullanılmıştır. Taşıma sürecinin optimizasyonunda bu farklı olasılıklar önemli bir karar parametresi olarak değerlendirilmiştir.

#### Şekil 4

##### Taşıma İçin Kullanılan Taşıt Tipleri



Forklift  
(2 Ton)



Transpalet  
(1.6 Ton)



Malzeme Taşıma Arabası  
(300 Kg)

#### 2.2.4. Taşıt Enerji Tüketim Değerleri ve Birim Maliyet Verileri

Taşıma araçlarının maliyet verileri, enerji tüketim değerleri esas alınarak hesaplanmıştır. Her bir taşıma aracının enerji tüketim maliyetine, kullanılan enerji türü (yakıt veya elektrik) ile operatörün saatlik personel maliyeti birlikte dahil edilmiştir. Forklift için enerji tüketimi saatlik yakıt tüketimi (3 lt/saat), transpalet için enerji tüketimi saatlik elektrik tüketimi (0.31 kW/saat) ve malzeme taşıma arabası için enerji tüketimi personel birim saatlik maliyeti 115,58 TL/Sa'dır. Tablo3'te gösterildiği şekilde taşıtların enerji tüketimine taşıtı kullanan personel maliyeti de eklenerek modelde kullanılacak enerji maliyetleri belirlenmiştir.

**Tablo 3**

*Taşıt Enerji Tüketimi Tablosu*

| Taşıtların Enerji Tüketimi |                          |
|----------------------------|--------------------------|
| <b>F</b>                   | Yakıt + İşçilik Saati    |
| <b>T</b>                   | Elektrik + İşçilik Saati |
| <b>MTA</b>                 | İşçilik Saati            |

-Forklift için enerji tüketimi, saatlik yakıt tüketimi (3 lt/saat) ve personel saatlik maliyeti esas alınarak hesaplanmıştır:

Forklift Maliyeti = (Yakıt Tüketimi × Yakıt Birim Maliyeti) + (Personel Saati × Personel Saatlik Maliyeti)

-Transpalet için enerji tüketimi, saatlik elektrik tüketimi (0.31 kW/saat) ve personel maliyeti dikkate alınarak hesaplanmıştır:

Transpalet Maliyeti = (Elektrik Tüketimi × Elektrik Birim Maliyeti) + (Personel Saati × Personel Saatlik Maliyeti)

-Malzeme Taşıma Arabası yalnızca insan gücüyle çalıştığı için sadece personel saatlik maliyetiyle hesaplanmıştır:

Malzeme Taşıma Arabası Maliyeti = Personel Saati × Personel Saatlik Maliyeti

Her bir taşıma aracına ait enerji tüketimi ve toplam maliyet değerleri, 02.12.2024 tarihli güncel yakıt ve elektrik fiyatları ile yürürlükteki asgari ücret esas alınarak hesaplanmıştır. Sonuçlar Tablo 4'te sunulmaktadır.

**Tablo 4**

*Taşıma Aracı Birim Maliyet Verileri Tablosu*

|                                  | <b>F</b>    | <b>T</b>   | <b>MTA</b>   |
|----------------------------------|-------------|------------|--------------|
| <b>Enerji Tüketimi</b>           | 3 Lt/Sa     | 0,31 kW/Sa | 115,58 TL/Sa |
| <b>Yüklü / Yüksüz sürüş hızı</b> | 17 km/Sa    | 6 km/Sa    | 4 km/Sa      |
| <b>Süre</b>                      | 0,00006 Sa  | 0,00017 Sa | 0,00025 Sa   |
| <b>Enerji Tüketim Miktarı</b>    | 0,00015     | 0,00005    | 0,00025      |
| <b>Birim Maliyeti ( TL )</b>     | 43,12 Lt/Sa | 3,7 kW/Sa  | 115,58 TL/Sa |
| <b>Enerji Tük.Tutarı ( TL)</b>   | □0,03524    | □0,02909   | □0,02890     |
| <b>Taşıma Kapasitesi</b>         | 2.000 Kg    | 1.600 Kg   | 300 Kg       |

### 2.3. Matematiksel Model

Problemin çok katmanlı yapısı nedeniyle tam sayılı doğrusal programlama yönteminin kullanıldığı bu çalışma iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Buna göre iç lojistiğin her aşaması için ayrı matematiksel modeller oluşturulması gerekmektedir. Genel hedef, depo yerleşimi ve taşıma süreçlerinde enerji ve zaman kullanımını en aza indiren optimizasyon sağlamaktır.

Modelin amacı taşıtların enerji maliyetlerini minimize etmektir ve amaç fonksiyonu buna göre formüle edilmiştir. Problemin kısıtları hem depolama atama aşamalarını hem de araç seçimi aşamalarını kapsayacak şekilde kapsamlı bir şekilde tanımlanmıştır. Bu kısıtlamalar şunları içerir:

- Her raf bölmesi yalnızca bir kez kullanılabilir,
- Her hammadde yalnızca uygun kapılara yönlendirilebilir,
- Talep edilen miktarlar bölünemez olmalı ve tam olarak karşılanmalıdır,
- Kapı ve araç kapasite sınırlamaları aşılmamalıdır,
- Araç tipleri yalnızca belirli hammadde gruplarını taşıyabilir.

- Karar değişkenleri gibi teknik gereksinimler ikili olmalıdır.

Bu kapsamda oluşturulan RD modeli ile hammadde yerleşiminde depo raf bölmelerinin en verimli şekilde kullanılması sağlanarak dağıtım sreğlerinin hızlandırılması hedeflenmektedir. RDT modeli ise taşıma sürecinde doğru araç tipinin seçimi ve araçların verimli kullanılmasına odaklanarak maliyet ve enerji açısından iyileştirmeler sunmaktadır. Bu iki modelin entegre bir şekilde uygulanması, lojistik sisteminde hem operasyonel esneklik hem de maliyet verimliliği açısından önemli avantajlar sağlamaktadır. Sonuç olarak önerilen model mimarisi, i lojistik sreğlerinin çeşitli aşamalarının bütünleşik bir yaklaşımla ele alınarak optimize edilmesine olanak sağlamakta ve işletmelerin karar destek sistemlerine doğrudan katkı sağlamaktadır.

### **2.3.1. Depo Slotlama Matematiksel Modeli**

Bu bölümde, i lojistik sreğlerinde nakliye mesafesini en aza indirmeyi amaçlayan bir depo raf yerleşim modeli sunulmaktadır. Model, hammaddelerin depo içerisindeki boş raf yuvalarına en uygun şekilde atanmasıyla üretim ve montaj alanlarına ulaşım mesafelerinin en aza indirilmesini hedeflemektedir. Karma tamsayılı doğrusal programlama yaklaşımı kullanılarak geliştirilen bu ereve, farklı senaryolarda (dengeli, yarı esnek, esnek) alışabilecek şekilde esnek bir yapıda tasarlanmıştır. Karar değişkenleri hammadde türleri, boş raf adresleri ve kapılar arasında oluşturulan üç boyutlu matris yapısına dayanmaktadır. Modelin amacı taşıma sürecine veri sağlayarak ikinci aşamadaki araç seçim modeline doğrudan katkıda bulunmaktır. Geliştirilen yapı sadece depo lokasyon stratejilerini optimize etmekle kalmamakta; Ayrıca bir sonraki adımda uygulanacak araç seçimi modeline doğrudan veri sağlayarak, modelin bütünsel bir optimizasyon çerçevesinde çalışmasına olanak sağlamaktadır. Bu bağlamda oluşturulan model, bir üretim tesisinin i lojistik ağı referans alınarak yapılandırılmıştır. Model, depo, raflar, üretim atölyeleri ve montaj hatları arasındaki malzeme akışını dikkate alarak, bu akışa uygun en uygun dağıtım stratejisini belirlemeyi amaçlamaktadır. Geliştirilen matematiksel modelin çözümüne ilişkin varsayımlar şu şekildedir:

- Müşterilerin tüm talepleri karşılanmalıdır.
- Depoların arz kapasiteleri sabittir ve bu kapasitenin aşılmaması gerekmektedir.
- Müşterilerin konumları, aralarındaki mesafeler ve talep miktarları önceden bilinir ve sabittir.

- Müşteriler, dağıtımın ve talebin kesinlikle tek bir ziyarette yerine getirilmesini istemektedirler, talep miktarları bölünemez.
- Üçgen eşitsizliği kuralı sağlanmaktadır.
- Olumsuz, yol koşulları, araç arızası ve personelden kaynaklanabilecek durumların vb. olmadığı varsayılmaktadır.

### **2.3.1.1. Dengeli Depo Slotlama Modeli**

Bu matematiksel model; depo kapıları ve raf bölmeleri, atölye ve montaj kapıları, hammaddeler ile taşıtlar olmak üzere dört unsurdan oluşmaktadır. Depo kapıları ve raf bölmeleri, atölye ve montaj kapıları, hammaddeler ile taşıtların her birisi, nokta olarak ifade edilmektedir. Depo kapıları sayısı 3, raf bölmeleri sayısı 62, atölye ve montaj kapıları sayısı 7 ve araç sayısı 3 olarak ifade edilir. Dengeli Depo Slotlama Modelinin matematiksel modeli için kullanılan kümeler, skalar ifadeler, parametreler ve karar değişkenleri şu şekildedir:

#### **Kümeler**

L : Lokasyonlar(L: Tüm Atölye ve Montaj Kapılarının Kümesi)

R: Raf Bölmeleri(R: Tüm Raf Bölmelerinin Kümesi)

H: Hammaddeler(H: Tüm Hammaddelerin Kümesi)

#### **İndisler**

i,j,k: Noktalarda kullanılacak indikatörler

#### **Skalar İfadeler**

lk: Lokasyon(Atölye ve Montaj Kapıları) Kapasitesi(  $lk \in L$  )

hm: Taşınacak Hammadde Miktarı(  $hm \in H$  )

#### **Parametreler**

$D_{ij}$ :  $i$ -nolu raf bölmesi ile  $j$ -nolu kapı arasındaki mesafe(  $i, j \in N$  )

### **2.3.1.1.1. Dengeli Depo Slotlama Modeli Karar Değişkenleri.**

$i \in R$ : Raf Bölmeleri

$j \in L$ : Atölye ve Montaj Kapıları

$k \in H$ : Hammaddeler

$$H_k X_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{k. hammadde i. boş raf bölmesinden j numaralı kapıya taşınıyorsa,} \\ 0, & \text{diğer durumlarda,} \end{cases}$$

Bu karar değişkeni, her bir hammadde için bir taşıma işleminin gerçekleşip gerçekleşmediğini belirtmekte olup ikili (binary) yapıdadır. Normal şartlarda karar değişkeni her bir boş raf bölmesinden bir atölye veya montaj kapısına malzeme taşıma işlemini ifade eden binary değişken olması gerekir. Fakat bu binary değişkenlerin modele özgü oluşturulabilmesi için yeni bir matris düzeni gereklidir.

Bu matrisin oluşturulması için depodaki rafların bölmelere ayrılarak her bir bölmenin adreslemesi yapılmıştır. Raf adreslemesi için ilk olarak, depodaki bütün raflara birer raf numarası verilmiştir. Toplamda 9 adet raf bulunmaktadır. Her bir raf üç katlı olup, bölme sayıları rafın boyutuna göre değişkenlik göstermektedir. Tablo 5'te Depo içindeki raflar ve kapasite bilgileri bulunmaktadır. Raf adresi ilk kısımda Raf numarası, ikinci kısımda Raf bölmesinin numarası ve son kısımda ise Kat numarası bilgilerini içerecek şekilde üç bölümden oluşmaktadır. Raflar yatay, dikey ve palet rafları olarak üç tiptedir. Yatay ve dikey raflar 3 katlı, palet rafları ise tek katlıdır.

**Tablo 5**

*Depo İçindeki Raf Tipleri*

| Raf Kodu | Raf Tipi       | Raf Bölme Sayısı | Raf Kat Sayısı |
|----------|----------------|------------------|----------------|
| R1       | Dikey Raf Uzun | 15               | 3              |
| R2       | Yatay Raf Kısa | 6                | 3              |
| R3       | Dikey Raf Uzun | 15               | 3              |
| R4       | Dikey Raf Kısa | 14               | 3              |
| R5       | Yatay Raf Uzun | 11               | 3              |
| R6       | Dikey Raf Uzun | 15               | 3              |
| R7       | Dikey Raf Kısa | 14               | 3              |
| R8       | Yatay Raf Orta | 9                | 3              |
| R9       | Dikey Raf Uzun | 15               | 3              |
| PR1      | Palet Rafi     | 14               | 1              |
| PR2      | Palet Rafi     | 14               | 1              |

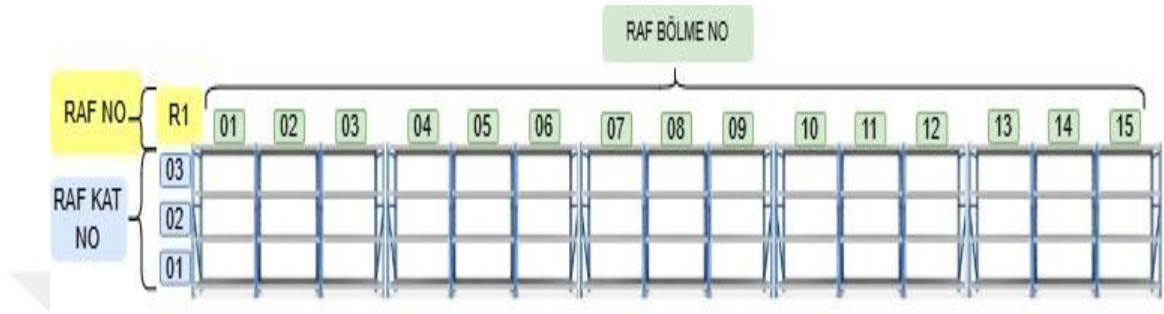
Raf Adreslemesi için öncelikle boş raf görünümü tasarlanmış ve Şekil 5'te görüldüğü gibi raf numarası R1 olarak belirlenmiştir. Raftaki bölmelere 1'den 15'e kadar bölme numarası ve raf üç katlı olduğu için rafın katlarına 1'den 3'e kadar kat numarası verilmiştir.

Raf adresleme için bölmeler ve katlar numaralandırıldıktan sonra 1.Raf için oluşturulan raf düzeni Şekil 6'da görülmektedir. Normal şartlarda bu rafta  $15 * 3 = 45$  ayrı raf

bölmesi bulunmaktadır. Buna rağmen sistemden anlık çekilen görüntüde sadece sekiz raf bölümü boş görülmektedir. Sadece bu boş olan ilk sekiz raf bölümü kullanılacak şekilde modelin boyutunu sınırlamak amacıyla, modeli sıralamak tercih edilmiştir.

### Şekil 5

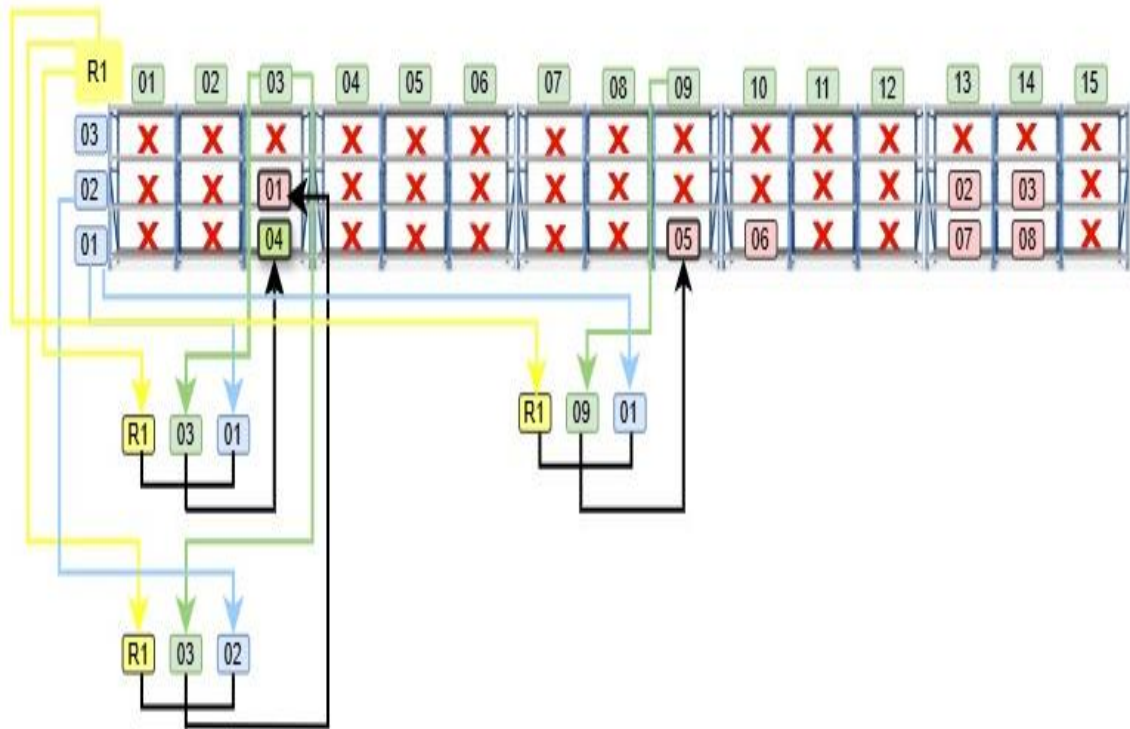
*Raf Adresleme Öncesindeki Boş Raf Görünümü*



Modelde bütün raflardaki sadece boş bölmeleri içerecek şekilde bir matris oluşturulması için çalışma yapılmıştır. Bilişim Sistemi açıldığında depodaki anlık boş yerleri göstermektedir. Belirlenen boş raf bölmelerine dağıtım yapılmak üzere için ilgili raf bölmelerinin adresleri matrise satır olarak eklenmiştir.

### Şekil 6

*Dengeli Depo Slotlama Modeli Örnek Raf Yerleşimi*



Tablo 6’da gösterilen matrisin satırlarında boş raf bölmeleri, sütunlarında ise boş raf

bölmelerinin yönlendirileceği atölye ve montaj kapıları yer alır. Burada boş bölme sayısı kadar satır, atölye ve montaj kapıları toplamı kadar sütun oluşur.

**Tablo 6**

*Dengeli Depo Slotlama Modeli İçin Örnek Raf-Kapı Atama Matrisi*

| Raf Adresi | AK1          | AK2          | AK3          | AK4          | AK5          | MK1          | MK2          |
|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| R1-03-01   | $X_{(1,1)}$  | $X_{(1,2)}$  | $X_{(1,3)}$  | $X_{(1,4)}$  | $X_{(1,5)}$  | $X_{(1,6)}$  | $X_{(1,7)}$  |
| R1-03-02   | $X_{(2,1)}$  | $X_{(2,2)}$  | $X_{(2,3)}$  | $X_{(2,4)}$  | $X_{(2,5)}$  | $X_{(2,6)}$  | $X_{(2,7)}$  |
| R1-09-01   | $X_{(3,1)}$  | $X_{(3,2)}$  | $X_{(3,3)}$  | $X_{(3,4)}$  | $X_{(3,5)}$  | $X_{(3,6)}$  | $X_{(3,7)}$  |
| .          | .            | .            | .            | .            | .            | .            | .            |
| .          | .            | .            | .            | .            | .            | .            | .            |
| .          | .            | .            | .            | .            | .            | .            | .            |
| PR2-08-01  | $X_{(62,1)}$ | $X_{(62,2)}$ | $X_{(62,3)}$ | $X_{(62,4)}$ | $X_{(62,5)}$ | $X_{(62,6)}$ | $X_{(62,7)}$ |

Örneğin 1.Raftaki 3.raf bölmesinin 1.katının raf adresi R1-03-01 olarak oluşturulmaktadır. Bu bölmenin boş olması taşıma işlemi yapılabileceği anlamına geldiği için R1-03-01 raf adresi matrise satır olarak aktarılmaktadır.

Bu senaryoda, sistemden alınan anlık boşluk verisine göre 62 adet boş raf bölmesi dikkate alınmaktadır.  $i$ , 1'den 62'ye kadar yani 62 satır oluşur.  $i$ , 1'den 62'ye kadar olan her bir boş raf bölmesini gösterir.

$$i = \{ 1, 2, 3, \dots, 62 \}$$

Atölye ve montaj kapıları toplamı 7 kapı olduğu için 7 sütun oluşur.  $j$ , 1'den 7'ye kadar olan her bir atölye ve montaj kapısını gösterir. AK1'den MK2'ye kadar olan sıralamayı göstermektedir.

$$j = \{ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 \}$$

Burada  $X_{ij}$  karar değişkeni  $i$ . Boş raf bölmesinden  $j$ . kapıya taşıma yapılıp yapılmama ihtimali olarak ifade edilebilir.

$$X_{ij} = \begin{cases} 1, & i. \text{ raf bölmesinden } j \text{ numaralı kapıya taşınıyorsa,} \\ 0, & \text{diğer durumlarda,} \end{cases} \quad (2.1)$$

Model temelde bu şekilde tasarlandıktan sonra, modelin hammaddele genişletilmesi gerekmektedir. Çünkü her hammadde kendi içerisinde kendi dağıtım modelini çalıştırmaktadır. Hammadde çeşidi kadar matrisin tekrar edilmesi gereklidir. Bir diğer ifade ile  $k$  adet hammadde çeşidi olduğu durumda bu matrisin  $k$  defa tekrar edilmesi gerekir. O yüzden de model  $H_k$   $X_{ij}$  olacak şekilde, her bir hammadde için tekrarlanmak

üzere aşağıdaki şekilde genişletilmiştir.

k, 1'den 21'e kadar olan her bir hammadde cinsini gösterir. H1'den SARF01'e kadar olan sıralamayı gösterir.

$$k = \{ 1, 2, 3, \dots, 21 \}$$

Burada  $H_k X_{ij}$ 'yi şu şekilde ifade edebiliriz. k. Hammaddenin i. Boş raf bölmesinden j. kapıya taşıma yapılıp yapılmama ihtimalidir.

$$H_k X_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{k. hammadde i. boş raf bölmesinden j numaralı kapıya taşınıyorsa,} \\ 0, & \text{diğer durumlarda,} \end{cases} \quad (2.2)$$

Karar değişkenleri; 62 raf bölmesi  $i = \{ 1, 2, 3, \dots, 62 \}$ , 7 kapı  $j = \{ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 \}$  ve 21 hammadde  $k = \{ 1, 2, 3, \dots, 21 \}$  için tanımlanmıştır. Modelde her biri (62x7) boyutunda 21 farklı matris tanımlı olup toplam karar değişkeni sayısı 9114 adettir.

#### **2.3.1.1.2. Dengeli Depo Slotlama Modeli Amaç Fonksiyonu.**

Geliştirilen Dengeli Depo Slotlama Modeli'nin amaç fonksiyonu, depo raf alanından çalışma alanına ve montaj kapısına kadar olan taşıma işlemlerinin toplam mesafesini minimize etmeyi hedeflemektedir. Taşıma mesafesi, raf bölmesi ile kapı arasındaki mesafe parametrelerine göre hesaplanmaktadır. Modelde kullanılan amaç fonksiyonu aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır:

$$Z_{\min} = \sum_{k=1}^{21} \sum_{i=1}^{62} \sum_j^7 H_k X_{ij} * H_k D_{ij} \quad (2.3)$$

Amaç fonksiyonu, taşımaların toplam mesafesini en aza indirerek depo içi lojistik süreçlerin daha verimli hale getirilmesini sağlamaktadır.

#### **2.3.1.1.3. Dengeli Depo Slotlama Modeli Kısıtları.**

Dengeli Depo Slotlama modelinin kısıtları Karar Değişkenlerinin Binary Olma Kısıtı, Talep Miktarı Kısıtı, Kapıların Kapasite Kısıtı, Malzemelerin Belirli Kapılara Yönlendirilme Kısıtı ve Her Raf Bölmesinin Sadece Bir Kez Kullanılabilme Kısıtı olarak beş adettir.

##### **Kısıt 1: Karar Değişkenlerinin Binary Olma Kısıtı**

Bu kısıt, modelde kullanılan karar değişkeni  $X_{ij}$ , i numaralı raf bölmesinden j numaralı kapıya taşıma yapılmasını gösteren ikili değişkendir. Yani, her bir raf bölmesinden

atölye veya montaj kapısına malzeme taşınıp taşınmadığı **1** veya **0** ile ifade edilir. **1** değeri taşımanın gerçekleştiğini, **0** değeri ise taşımanın yapılmadığını gösterir. Bu durum, modelin net ve kesin sonuçlar üretmesini sağlar.

**Örnek:**

- **R1-03-01** raf bölmesinden **AK2** kapısına bir hammadde taşındığında, ilgili karar değişkeni:

$$X_{(R1-03-01,AK2)}=1 \quad (2.4)$$

- Aynı raf bölmesinden **MK1** kapısına bir taşıma yapılmıyorsa:

$$X_{(R1-03-01,AK2)}=0 \quad (2.5)$$

Matematiksel gösterimi şu şekildedir:

$$X_{ij} \in \{0,1\}, \forall i,j \quad (2.6)$$

$$X_{ij}=1 \quad (2.7)$$

Burada:

$$X_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{eğer } i\text{-nolu raf bölmesinden } j\text{-nolu kapıya taşıma yapılmışsa,} \\ 0, & \text{eğer taşıma yapılmamışsa,} \end{cases} \quad (2.8)$$

Bu kısıt, modelin lojistik süreçlerde kesin kararlar almasını sağlar ve çözümün doğruluğunu garanti etmektedir.

**Kısıt 2: Talep Miktarı Kısıtı**

Her bir hammaddenin raf bölmelerinden atölye veya montaj kapılarına taşınacak miktarını sabittir. Modelde, her hammaddenin belirli bir raf bölmesinden yalnızca bir kez taşınması gerekmektedir. Bu, taleplerin bölünemez olduğunu ve her bir taşımanın tam olarak yapılması gerektiğini ifade etmektedir.

**Örnek:**

- **Hammadde 1, R1-03-01** raf bölmesinden taşınacaktır. Bu hammadde yalnızca bir kapıya gönderilebilir.
  - Eğer **AK3** kapısına taşındıysa:

$$H_1 X_{(R1-03-01,AK3)} = 1 \quad (2.9)$$

- Bu durumda, aynı raf bölmesinden diğer kapılara taşıma yapılmaz:

$$H_1 X_{(R1-03-01,AK1)} = 0, H_1 X_{(R1-03-01,AK2)} = 0, \dots, H_1 X_{(R1-03-01,MK2)} = 0 \quad (2.10)$$

$$\sum_{k=1}^{21} \sum_{i=1}^{62} \sum_{j=1}^7 H_k X_{ij} = hm \quad \left\{ \begin{array}{l} k=1, hm=1 \\ k=2, hm=6 \\ k=3, hm=1 \\ k=4, hm=10 \\ k=5, hm=2 \\ k=6, hm=1 \\ k=7, hm=1 \\ k=8, hm=7 \\ k=9, hm=1 \\ k=10, hm=2 \\ k=11, hm=1 \\ k=12, hm=1 \\ k=13, hm=1 \\ k=14, hm=1 \\ k=15, hm=20 \\ k=16, hm=1 \\ k=17, hm=1 \\ k=18, hm=1 \\ k=19, hm=1 \\ k=20, hm=1 \\ k=21, hm=1 \end{array} \right. \quad (2.11)$$

Bu kısıt, hammaddelerin taşıma işlemlerinin tam ve doğru bir şekilde yapılmasını sağlar. Hammaddeler bölünmeden taşındığı için taşıma planlaması daha net ve uygulanabilir hale gelir.

### Kısıt 3: Kapıların Kapasite Kısıtı

Atölye ve montaj kapılarının alabileceği maksimum hammadde miktarını sınırlar. Her kapının belirli bir kapasitesi vardır ve bu kapasitenin aşılması mümkün değildir. Bu sayede, kapıların aşırı yüklenmesi engellenerek ve lojistik süreçlerin düzenli işlemesi sağlanmaktadır.

### Örnek:

- **AK1** kapısının maksimum kapasitesi 5 birimdir. Bu kapıya taşınacak hammaddelerin toplamı bu sınırı aşmamalıdır:
  - **R1-01-01** raf bölmesinden **Hammadde 1**, **AK1** kapısına taşındıysa:

$$H_1 X_{(R1-01-01,AK1)} = 1 \quad (2.12)$$

- **R2-05-02** raf bölmesinden **Hammadde 3, AK1** kapısına taşındıysa:

$$H_3X_{(R2-05-02,AK1)}=1 \quad (2.13)$$

Toplamda 5 farklı hammadde taşındığında kapı kapasitesi dolmuş olur. 5'ten fazla taşıma yapılamaz:

$$H_1X_{(R1-01-01,AK1)}=1 + H_3X_{(R2-05-02,AK1)}=1 + \dots \leq 5 \quad (2.14)$$

Matematiksel gösterimi şu şekildedir:

$$\sum_{k=1}^{21} \sum_{i=1}^{62} \sum_{j=1}^7 H_k X_{ij} \leq l_k \quad \begin{cases} j=1, l_k=5 \\ j=2, l_k=6 \\ j=3, l_k=5 \\ j=4, l_k=10 \\ j=5, l_k=5 \\ j=6, l_k=33 \\ j=7, l_k=15 \end{cases} \quad (2.15)$$

$l_k$ :  $j$ -nolu kapının maksimum taşıma kapasitesini ifade eder. Örneğin, 1. kapı için kapasite 5 birim olarak tanımlanmışsa  $j=1, l_k=5$ 'tir.

Bu kısıt, kapıların kapasite sınırlarını koruyarak taşıma işlemlerinin dengeli ve verimli bir şekilde yapılmasını sağlamaktadır.

#### **Kısıt 4: Malzemelerin Belirli Kapılara Yönlendirilme Kısıtı**

Bu kısıt, belirli hammaddelerin yalnızca belirli atölye veya montaj kapılarına taşınmasını zorunlu kılar. Her hammadde, operasyonel gereklilikler veya üretim sürecine bağlı olarak sadece belirli bir kapıya yönlendirilmektedir. Bu kısıt, malzeme akışının doğru ve düzenli bir şekilde yönetilmesini sağlar.

#### **Örnek:**

- **Hammadde 1** yalnızca **6 nolu kapıya (MK1)** taşınabilir. Bu durumda:

$$H_1X_{i,6}=1, \quad \forall i \quad (2.16)$$

Diğer kapılara taşıma yapılması mümkün değildir:

$$H_1X_{i,1}=0, \quad H_1X_{i,2}=0, \quad H_1X_{i,3}=0, \quad H_1X_{i,4}=0, \quad H_1X_{i,5}=0, \quad H_1X_{i,6}=0, \quad H_1X_{i,7}=0$$

Burada:

- **R1-03-01** raf bölmesinden **Hammadde 1** taşınacaksa, bu taşıma sadece **MK1** kapısına yapılabilir:

$$\bullet \quad H_1 X_{(R1-03-01, MK1)} = 1 \quad (2.17)$$

- Aynı raf bölmesinden **AK2** kapısına taşıma yapılmak istenirse, bu mümkün değildir:

$$H_1 X_{(R1-03-01, MK1)} = 0 \quad (2.18)$$

Matematiksel gösterimi şu şekildedir:

$$\sum_{k=1}^{21} \sum_{i=1}^{62} \sum_{j=1}^7 H_k X_{ij} = 0, \quad \left\{ \begin{array}{l} k=1, j \in \{1,7\} \vee \{6\} \\ k=2, j \in \{1,7\} \vee \{1,2\} \\ k=3, j \in \{1,7\} \vee \{3,4\} \\ k=4, j \in \{1,7\} \vee \{3,4\} \\ k=5, j \in \{1,7\} \vee \{3,4,5\} \\ k=6, j \in \{1,7\} \vee \{6\} \\ k=7, j \in \{1,7\} \vee \{6\} \\ k=8, j \in \{1,7\} \vee \{7\} \\ k=9, j \in \{1,7\} \vee \{6\} \\ k=10, j \in \{1,7\} \vee \{6\} \\ k=11, j \in \{1,7\} \vee \{7\} \\ k=12, j \in \{1,7\} \vee \{6\} \\ k=13, j \in \{1,7\} \vee \{6\} \\ k=14, j \in \{1,7\} \vee \{6\} \\ k=15, j \in \{1,7\} \vee \{6\} \\ k=16, j \in \{1,7\} \vee \{7\} \\ k=17, j \in \{1,7\} \vee \{7\} \\ k=18, j \in \{1,7\} \vee \{7\} \\ k=19, j \in \{1,7\} \vee \{7\} \\ k=20, j \in \{1,7\} \vee \{7\} \\ k=21, j \in \{1,7\} \vee \{6\} \end{array} \right. \quad (2.19)$$

Bu kısıt, hammaddelerin doğru kapılara yönlendirilmesini sağlayarak üretim sürecindeki hataları ve lojistik aksaklıkları önlemektedir.

#### **Kısıt 5: Her Raf Bölmesinin Sadece Bir Kez Kullanılabilme Kısıtı**

Bu kısıt, her raf bölmesinin yalnızca bir kez kullanılmasını zorunlu kılar. Yani bir raf bölmesinden sadece bir hammadde taşınabilir ve bu taşıma sadece bir kapıya yapılabilir. Bu, raf bölmelerinin tekrar kullanılmasını önleyerek depo içi lojistik süreçlerin düzenli ve verimli olmasını sağlar.

#### **Örnek:**

- **R1-03-01** raf bölümü yalnızca bir kez kullanılabilir. Bu raf bölümünden bir hammadde taşındığında, başka bir hammadde için veya başka bir kapıya taşımaya izin verilmez.

**Durum 1:**

- **Hammadde 2, R1-03-01** raf bölümünden **AK3** kapısına taşındıysa

$$H_2X_{(R1-03-01, AK3)}=1 \quad (2.20)$$

Bu durumda, aynı raf bölümünden başka bir kapıya veya başka bir hammaddeye taşıma yapılmaz:

$$H_5X_{(R1-03-01, AK4)}=0, H_2X_{(R1-03-01, MK2)}=1 \quad (2.21)$$

**Durum 2:**

Eğer R1-03-01 raf bölümünden hiç taşıma yapılmazsa:

$$\sum_{k=1}^{21} \sum_{j=1}^7 H_k X_{(R1-03-01, j)}=0 \quad (2.22)$$

Bu durumda raf bölümü kullanılmamış kabul edilir. Matematiksel gösterimi şu şekildedir:

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^{21} \sum_{j=1}^7 H_k X_{(1,j)} &\leq 1 \\ \sum_{k=1}^{21} \sum_{j=1}^7 H_k X_{(2,j)} &\leq 1 \\ &\vdots \\ \sum_{k=1}^{21} \sum_{j=1}^7 H_k X_{(62,j)} &\leq 1 \end{aligned} \quad (2.23)$$

Bu kısıt, depo alanının verimli kullanılmasını ve taşıma işlemlerinin tekrarlanmamasını sağlar. Böylece sistemde çakışmalar veya hatalı atamalar önlenir.

Buraya kadar tanımlanan 62 raf bölümünden oluşan senaryo dengelidir ve Dengeli Depo Slotlama Modeli olarak adlandırılmıştır. Boş raf bölümü sayısının artması

durumlarını göz önüne alınarak olası senaryolar oluşturulmuştur.

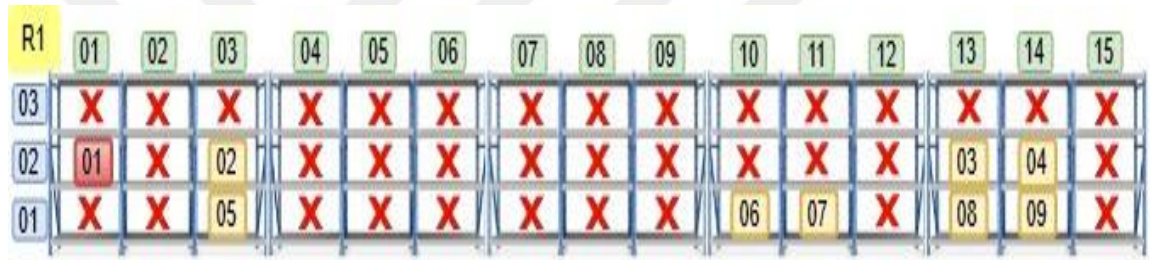
### 2.3.1.2. Kısmen Esnek Depo Slotlama Modeli

#### 2.3.1.2.1. Kısmen Esnek Depo Slotlama Modeli Karar Değişkenleri.

Dengeli Depo Slotlama modelinin varyantı olarak nitelendirilecek 68 boş raf bölmesinden oluşacak Kısmen Esnek Depo Slotlama modelinin karar değişkenindeki farklılık, boş raf bölmesi sayısı fazla olduğu için aslında burada aşağıdaki 1.raf gösteriminde belirtildiği gibi sadece  $i$  değerinin boş raf bölmesi sayısı kadar artmasıdır. Fakat sütun sayısı ve hammadde sayısı sabit kalmaktadır.

#### Şekil 7

*Kısmen Esnek Depo Slotlama Modeli Örnek Raf Yerleşimi*



Şekil 7’de depo içindeki tüm raflardaki boş raf bölmelerinin sayısı 68 olduğunda, R1 rafındaki değişim gösterilmektedir. Buna göre R1 rafındaki boş raf bölmesi sayısı dengeli modele göre bir bölme artarak dokuz bölme olmuştur. Kısmen esnek modelde Dengeli modele göre  $k$  ve  $j$  değerlerinin sayısı sabit iken  $i$  değeri 62’den 68’e yükselmektedir. Tablo 7’de modelin esnekleşmesine bağlı olarak değişen matris örneği verilmiştir.

**Tablo 7**

*Kısmen Esnek Depo Slotlama Modeli İçin Örnek Raf-Kapı Atama Matrisi*

| Raf Adresi | AK1          | AK2          | AK3          | AK4          | AK5          | MK1          | MK2          |
|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| R1-03-01   | $X_{(1,1)}$  | $X_{(1,2)}$  | $X_{(1,3)}$  | $X_{(1,4)}$  | $X_{(1,5)}$  | $X_{(1,6)}$  | $X_{(1,7)}$  |
| R2-05-02   | $X_{(2,1)}$  | $X_{(2,2)}$  | $X_{(2,3)}$  | $X_{(2,4)}$  | $X_{(2,5)}$  | $X_{(2,6)}$  | $X_{(2,7)}$  |
| R2-09-01   | $X_{(3,1)}$  | $X_{(3,2)}$  | $X_{(3,3)}$  | $X_{(3,4)}$  | $X_{(3,5)}$  | $X_{(3,6)}$  | $X_{(3,7)}$  |
| .          | .            | .            | .            | .            | .            | .            | .            |
| .          | .            | .            | .            | .            | .            | .            | .            |
| .          | .            | .            | .            | .            | .            | .            | .            |
| PR2-08-01  | $X_{(68,1)}$ | $X_{(68,2)}$ | $X_{(68,3)}$ | $X_{(68,4)}$ | $X_{(68,5)}$ | $X_{(68,6)}$ | $X_{(68,7)}$ |

$$H_k x_{ijk} = \{ 1, 2, 3, \dots, 21 \}$$

$$i = \{ 1, 2, 3, \dots, 68 \}$$

$$j = \{ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 \}$$

Raf bölmelerinin sayısının 68'e yükseldiği kısmen esnek depo slotlama modelinde karar değişkenleri; 68 raf bölmesi  $i = \{ 1, 2, 3, \dots, 68 \}$ , 7 kapı  $j = \{ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 \}$  ve 21 hammadde  $k = \{ 1, 2, 3, \dots, 21 \}$  için tanımlanmıştır. Modelde her biri (68x7) boyutunda 21 farklı matris tanımlı olup toplam karar değişkeni sayısı 9996 adettir.

#### **2.3.1.2.2. Kısmen Esnek Depo Slotlama Modeli Amaç Fonksiyonu.**

Geliştirilen Kısmen Esnek Depo Slotlama Modeli'nin amaç fonksiyonu, Dengeli Depo Slotlama Modelinde olduğu gibi depo raf alanından çalışma alanına ve montaj kapısına kadar olan taşıma işlemlerinin toplam mesafesini minimize etmeyi hedeflemektedir. Taşıma mesafesi, raf bölmesi ile kapı arasındaki mesafe parametrelerine göre hesaplanmaktadır. Bu modeldeki farklılık raf bölme sayısının 62'den 68'e yükselmesi olduğundan kullanılan amaç fonksiyonu aşağıdaki şekilde yeniden tanımlanmıştır:

$$Z_{\min} = \sum_{k=1}^{21} \sum_{i=1}^{68} \sum_j^7 H_k X_{ij} * H_k D_{ij} \quad (2.24)$$

Burada  $i$  değeri raf bölmelerinin sıralaması için kullanılmakta olup toplam raf bölmesi sayısı olan 68'e kadar değer almaktadır. Amaç fonksiyonu, taşımaların toplam mesafesini en aza indirerek depo içi lojistik süreçlerin daha verimli hale getirilmesini sağlamaktadır.

#### **2.3.1.2.3. Kısmen Esnek Depo Slotlama Modeli Kısıtları.**

Kısmen Esnek Depo Slotlama modelinin kısıtları Dengeli Depo Slotlama modelinin kısıtlarında olduğu gibi Karar Değişkenlerinin Binary Olma Kısıtı, Talep Miktarı Kısıtı, Kapıların Kapasite Kısıtı, Malzemelerin Belirli Kapılara Yönlendirilme Kısıtı ve Her Raf Bölmesinin Sadece Bir Kez Kullanılabilme Kısıtı olarak beş adettir. Bunlardan Karar Değişkenlerinin Binary Olma Kısıtı bu modelde de aynı şekilde uygulanmıştır. Diğer kısıtlarda ise değişkenlik raf bölmesi sayısını 68 olarak yükselmesidir. Buna göre Kısmen Esnek Depo Slotlama Modeli için farklılaşan dört kısıt denklemi aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır.

#### **Kısıt 2: Talep Miktarı Kısıtı**

Modelde, her hammaddenin belirli bir raf bölmesinden yalnızca bir kez taşınması kısıtı

kısmen esnek depo slotlama modelinde de raf bölme sayısı 68'e yükseltilerek uygulanmıştır. Matematiksel gösterimi şu şekildedir:

$$\sum_{k=1}^{21} \sum_{i=1}^{68} \sum_{j=1}^7 H_k X_{ij} = h_m \quad \left\{ \begin{array}{l} k=1, h_m=1 \\ k=2, h_m=6 \\ k=3, h_m=1 \\ k=4, h_m=10 \\ k=5, h_m=2 \\ k=6, h_m=1 \\ k=7, h_m=1 \\ k=8, h_m=7 \\ k=9, h_m=1 \\ k=10, h_m=2 \\ k=11, h_m=1 \\ k=12, h_m=1 \\ k=13, h_m=1 \\ k=14, h_m=1 \\ k=15, h_m=20 \\ k=16, h_m=1 \\ k=17, h_m=1 \\ k=18, h_m=1 \\ k=19, h_m=1 \\ k=20, h_m=1 \\ k=21, h_m=1 \end{array} \right. \quad (2.25)$$

### Kısıt 3: Kapıların Kapasite Kısıtı

Modelde, kapıların kapasite kısıtı kısmen esnek depo slotlama modelinde raf bölme sayısı 68'e yükseltilerek uygulanmıştır. Matematiksel gösterimi şu şekildedir:

$$\sum_{k=1}^{21} \sum_{i=1}^{68} \sum_{j=1}^7 H_k X_{ij} \leq l_k \quad \left\{ \begin{array}{l} j=1, l_k=5 \\ j=2, l_k=6 \\ j=3, l_k=5 \\ j=4, l_k=10 \\ j=5, l_k=5 \\ j=6, l_k=33 \\ j=7, l_k=15 \end{array} \right. \quad (2.26)$$

### Kısıt 4: Malzemelerin Belirli Kapılara Yönlendirilme Kısıtı

Modelde, malzemelerin belirli kapılara yönlendirilme kısıtı kısmen esnek depo slotlama modelinde raf bölme sayısı 68'e yükseltilerek uygulanmıştır. Matematiksel gösterimi şu şekildedir:

$$\sum_{k=1}^{21} \sum_{i=1}^{68} \sum_{j=1}^7 H_k X_{ij} = 0, \quad \left\{ \begin{array}{l} k=1, j \in \{1,7\} \vee \{6\} \\ k=2, j \in \{1,7\} \vee \{1,2\} \\ k=3, j \in \{1,7\} \vee \{3,4\} \\ k=4, j \in \{1,7\} \vee \{3,4\} \\ k=5, j \in \{1,7\} \vee \{3,4,5\} \\ k=6, j \in \{1,7\} \vee \{6\} \\ k=7, j \in \{1,7\} \vee \{6\} \\ k=8, j \in \{1,7\} \vee \{7\} \\ k=9, j \in \{1,7\} \vee \{6\} \\ k=10, j \in \{1,7\} \vee \{6\} \\ k=11, j \in \{1,7\} \vee \{7\} \\ k=12, j \in \{1,7\} \vee \{6\} \\ k=13, j \in \{1,7\} \vee \{6\} \\ k=14, j \in \{1,7\} \vee \{6\} \\ k=15, j \in \{1,7\} \vee \{6\} \\ k=16, j \in \{1,7\} \vee \{7\} \\ k=17, j \in \{1,7\} \vee \{7\} \\ k=18, j \in \{1,7\} \vee \{7\} \\ k=19, j \in \{1,7\} \vee \{7\} \\ k=20, j \in \{1,7\} \vee \{7\} \\ k=21, j \in \{1,7\} \vee \{6\} \end{array} \right. \quad (2.27)$$

#### Kısıt 5: Her Raf Bölmesinin Sadece Bir Kez Kullanılabilme Kısıtı

Modelde, her raf bölümünün sadece bir kez kullanılabilme kısıtı kısmen esnek depo slotlama modelinde raf bölme sayısı 68'e yükselterek uygulanmıştır. Matematiksel gösterimi şu şekildedir:

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^{21} \sum_{j=1}^7 H_k X_{(1,j)} &\leq 1 \\ \sum_{k=1}^{21} \sum_{j=1}^7 H_k X_{(2,j)} &\leq 1 \\ &\vdots \\ \sum_{k=1}^{21} \sum_{j=1}^7 H_k X_{(68,j)} &\leq 1 \end{aligned} \quad (2.28)$$

### 2.3.1.3. Esnek Depo Slotlama Modeli

#### 2.3.1.3.1. Esnek Depo Slotlama Modeli Karar Değişkenleri.

Dengeli depo slotlama modelinin esnek varyantı olan ve 75 boş raf bölümünden oluşan Esnek depo slotlama modelinin karar değişkenlerindeki farklılık, kısmen esnek depo slotlama modelinde olduğu gibi sadece  $i$  değerinin boş raf bölümü sayısı kadar artmasıdır. Fakat sütun sayısı ve hammadde sayısı sabit kalmaktadır. Şekil 8’de 75 raf bölmelik esnek depo slotlama modelinin örnek raf yerleşimi gösterilmiştir.

#### Şekil 8

Esnek Depo Slotlama Modeli Örnek Raf Yerleşimi

| R1 | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 03 | X  | X  | X  | X  | X  | 01 | X  | X  | 02 | X  | X  | X  | X  | X  | X  |
| 02 | 03 | X  | 04 | X  | X  | 05 | X  | X  | X  | X  | X  | X  | 06 | 07 | X  |
| 01 | X  | X  | 08 | X  | X  | X  | X  | X  | X  | 09 | 10 | X  | 11 | 12 | X  |

Esnek modelde de kısmen esnek modelde olduğu gibi dengeli modele göre değişkenlik mevcuttur. Şekil 8’de verilen Esnek modele göre, depo içindeki tüm raflardaki boş raf bölmelerinin sayısı 75 olduğunda R1 rafındaki boş bölmelerin bulundukları adresler farklılaşmaktadır. Buna göre R1 rafındaki boş raf bölümü sayısı dengeli modelden dört bölme ve kısmen esnek modelden ise üç bölme daha artarak 12 raf bölümü olmuştur. Dengeli modeldeki 62 boş raf bölmelik yapı burada farklılaşarak  $i$  değeri 75’e yükselmektedir.  $k$  ve  $j$  değerlerinin sayısı ise sabit kalmıştır. Tablo 8’de esnek modeli için örnek Raf-kapı atama matrisi gösterilmektedir. Raf adreslerinin sayısı 62’den 75’e yükselmiştir. Bu matriste de Tablo 7’de verilen kısmen esnek depo slotlama modeli matrisinde olduğu gibi atölye ve montaj kapıları sabit iken raf adreslerinde değişkenlik mevcuttur.

$$H_k \times_{ij} k = \{ 1, 2, 3, \dots, 21 \}$$

$$i = \{ 1, 2, 3, \dots, 75 \}$$

$$j = \{ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 \}$$

Aynı şekilde raf bölmelerinin sayısının 75 olduğu esnek depo slotlama modelinde ise karar değişkenleri; 75 raf bölümü  $i = \{ 1, 2, 3, \dots, 75 \}$ , 7 kapı  $j = \{ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 \}$

ve 21 hammadde  $k = \{ 1, 2, 3, \dots, 21 \}$  için tanımlanmıştır. Modelde her biri (75x7) boyutunda 21 farklı matris tanımlı olup toplam karar değişkeni sayısı 11025 adettir.

**Tablo 8**

*Esnek Depo Slotlama Modeli İçin Örnek Raf-Kapı Atama Matrisi*

| Raf Adresi | AK1          | AK2          | AK3          | AK4          | AK5          | MK1          | MK2          |
|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| R1-06-02   | $X_{(1,1)}$  | $X_{(1,2)}$  | $X_{(1,3)}$  | $X_{(1,4)}$  | $X_{(1,5)}$  | $X_{(1,6)}$  | $X_{(1,7)}$  |
| R2-03-03   | $X_{(2,1)}$  | $X_{(2,2)}$  | $X_{(2,3)}$  | $X_{(2,4)}$  | $X_{(2,5)}$  | $X_{(2,6)}$  | $X_{(2,7)}$  |
| R5-04-03   | $X_{(3,1)}$  | $X_{(3,2)}$  | $X_{(3,3)}$  | $X_{(3,4)}$  | $X_{(3,5)}$  | $X_{(3,6)}$  | $X_{(3,7)}$  |
| .          | .            | .            | .            | .            | .            | .            | .            |
| .          | .            | .            | .            | .            | .            | .            | .            |
| R8-02-01   | $X_{(75,1)}$ | $X_{(75,2)}$ | $X_{(75,3)}$ | $X_{(75,4)}$ | $X_{(75,5)}$ | $X_{(75,6)}$ | $X_{(75,7)}$ |

#### 2.3.1.3.2. Esnek Depo Slotlama Modeli Amaç Fonksiyonu.

Geliştirilen Esnek Depo Slotlama Modeli'nin amaç fonksiyonu, Dengeli Depo Slotlama Modelinde olduğu gibi depo raf alanından çalışma alanına ve montaj kapısına kadar olan taşıma işlemlerinin toplam mesafesini minimize etmeyi hedeflemektedir. Taşıma mesafesi, raf bölmesi ile kapı arasındaki mesafe parametrelerine göre hesaplanmaktadır. Bu modeldeki farklılık raf bölme sayısının 62'den 75'e yükselmesi olduğundan kullanılan amaç fonksiyonu aşağıdaki şekilde yeniden tanımlanmıştır:

$$Z_{\min} = \sum_{k=1}^{21} \sum_{i=1}^{75} \sum_j^7 H_k X_{ij} * H_k D_{ij} \quad (2.29)$$

Burada  $i$  değeri raf bölmelerinin sıralaması için kullanılmakta olup toplam raf bölmesi sayısı olan 75'e kadar değer almaktadır. Amaç fonksiyonu, taşımaların toplam mesafesini en aza indirerek depo içi lojistik süreçlerin daha verimli hale getirilmesini sağlamaktadır.

#### 2.3.1.3.3. Esnek Depo Slotlama Modeli Kısıtları.

Esnek Depo Slotlama modelinin kısıtları da Dengeli Depo Slotlama modelinin kısıtlarında olduğu gibi Karar Değişkenlerinin Binary Olma Kısıtı, Talep Miktarı Kısıtı, Kapıların Kapasite Kısıtı, Malzemelerin Belirli Kapılara Yönlendirilme Kısıtı ve Her Raf Bölmesinin Sadece Bir Kez Kullanılabilme Kısıtı olarak beş adettir. Bunlardan Karar Değişkenlerinin Binary Olma Kısıtı Esnek Depo Slotlama modelinde de aynı

şekilde uygulanmıştır. Diğer kısıtlarda ise farklılaşma raf bölmesi sayısının 75 olarak değişmesi olmuştur. Buna göre Esnek Depo Slotlama Modeli için farklılaşan dört kısıt denklemi aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır.

### Kısıt 2: Talep Miktarı Kısıtı

Her bir hammaddenin raf bölmelerinden atölye veya montaj kapılarına taşınacak miktarını sabittir. Modelde, her hammaddenin belirli bir raf bölümünden yalnızca bir kez taşınması gerekmektedir. Bu, taleplerin bölünemez olduğunu ve her bir taşımanın tam olarak yapılması gerektiğini ifade etmektedir. Matematiksel gösterimi şu şekildedir:

$$\sum_{k=1}^{21} \sum_{i=1}^{75} \sum_{j=1}^7 H_k X_{ij} = h_m \quad \left\{ \begin{array}{l} k=1, h_m=1 \\ k=2, h_m=6 \\ k=3, h_m=1 \\ k=4, h_m=10 \\ k=5, h_m=2 \\ k=6, h_m=1 \\ k=7, h_m=1 \\ k=8, h_m=7 \\ k=9, h_m=1 \\ k=10, h_m=2 \\ k=11, h_m=1 \\ k=12, h_m=1 \\ k=13, h_m=1 \\ k=14, h_m=1 \\ k=15, h_m=20 \\ k=16, h_m=1 \\ k=17, h_m=1 \\ k=18, h_m=1 \\ k=19, h_m=1 \\ k=20, h_m=1 \\ k=21, h_m=1 \end{array} \right. \quad (2.30)$$

### Kısıt 3: Kapıların Kapasite Kısıtı

Modelde, kapıların kapasite kısıtı esnek depo slotlama modelinde raf bölme sayısı 75'e yükseltilerek uygulanmıştır.

Matematiksel gösterimi şu şekildedir:

$$\sum_{k=1}^{21} \sum_{i=1}^{75} \sum_{j=1}^7 H_k X_{ij} \leq l_k \quad \left\{ \begin{array}{l} j=1, l_k=5 \\ j=2, l_k=6 \\ j=3, l_k=5 \\ j=4, l_k=10 \\ j=5, l_k=5 \\ j=6, l_k=33 \\ j=7, l_k=15 \end{array} \right. \quad (2.31)$$

#### Kısıt 4: Malzemelerin Belirli Kapılara Yönlendirilme Kısıtı

Modelde, malzemelerin belirli kapılara yönlendirilme kısıtı esnek depo slotlama modelinde raf bölme sayısı 75'e yükseltilerek uygulanmıştır. Matematiksel gösterimi şu şekildedir:

$$\sum_{k=1}^{21} \sum_{i=1}^{75} \sum_{j=1}^7 H_k X_{ij} = 0, \quad \left\{ \begin{array}{l} k=1, j \in \{1,7\} \vee \{6\} \\ k=2, j \in \{1,7\} \vee \{1,2\} \\ k=3, j \in \{1,7\} \vee \{3,4\} \\ k=4, j \in \{1,7\} \vee \{3,4\} \\ k=5, j \in \{1,7\} \vee \{3,4,5\} \\ k=6, j \in \{1,7\} \vee \{6\} \\ k=7, j \in \{1,7\} \vee \{6\} \\ k=8, j \in \{1,7\} \vee \{7\} \\ k=9, j \in \{1,7\} \vee \{6\} \\ k=10, j \in \{1,7\} \vee \{6\} \\ k=11, j \in \{1,7\} \vee \{7\} \\ k=12, j \in \{1,7\} \vee \{6\} \\ k=13, j \in \{1,7\} \vee \{6\} \\ k=14, j \in \{1,7\} \vee \{6\} \\ k=15, j \in \{1,7\} \vee \{6\} \\ k=16, j \in \{1,7\} \vee \{7\} \\ k=17, j \in \{1,7\} \vee \{7\} \\ k=18, j \in \{1,7\} \vee \{7\} \\ k=19, j \in \{1,7\} \vee \{7\} \\ k=20, j \in \{1,7\} \vee \{7\} \\ k=21, j \in \{1,7\} \vee \{6\} \end{array} \right. \quad (2.32)$$

#### Kısıt 5: Her Raf Bölmesinin Sadece Bir Kez Kullanılabilme Kısıtı

Her raf bölümü sadece bir kez kullanılabilir. Matematiksel gösterimi şu şekildedir;

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^{21} \sum_{j=1}^7 H_k X_{(1,j)} &\leq 1 \\ \sum_{k=1}^{21} \sum_{j=1}^7 H_k X_{(2,j)} &\leq 1 \\ &\vdots \\ &\vdots \\ \sum_{k=1}^{21} \sum_{j=1}^7 H_k X_{(75,j)} &\leq 1 \end{aligned} \quad (2.33)$$

### 2.3.2. *Taşıt Seçimi Matematiksel Modeli*

İşletmenin iç lojistik dağıtım ağını modelleyen bir matematiksel modelin geliştirilmesinin ilk aşaması tamamlandıktan sonra ikinci aşama olarak depo kapısından atölyelere taşınan malzemelerin atölye içi dağıtımını optimize eden bir matematiksel model geliştirmek amaçlanmıştır. İlk aşamada hammaddelerin depo içerisindeki uygun raflara atanması sağlandıktan sonra, ikinci aşamada bu raflardan üretim ve montaj alanlarına yapılacak taşıma işlemlerinde kullanılacak en uygun araç tipinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Model, taşıma sürecinde enerji maliyetini en aza indirecek araç tipini seçmeye yönelik kararları kapsamakta ve atölye içi dağıtımın maliyet etkin biçimde planlanmasını sağlamaktadır.

Modeldeki her araç tipinin kapasitesi, hızı, yakıt türü ve tüketimi farklı olup heterojen bir yapıdadır. Dolayısıyla taşıma kararları sadece mesafeye göre değil, enerji tüketimi, yük kapasitesi ve uygunluk kriterleri de dikkate alınarak verilmektedir. İlgili taşıma operasyonlarını matematiksel olarak modellemek için, raf bölmeleri ve araç tipleri arasındaki ikili karar değişkenlerine dayalı bir çerçeve geliştirilmiştir. Model, taşıma operasyonlarında kullanılabilecek üç farklı araç tipine (forklift, transpalet ve malzeme taşıma arabası) göre senaryolara ayrılmış olup, her senaryo, raf bölmesi sayısına bağlı olarak farklı esneklik seviyelerini içermektedir.

Geliştirilen ikinci aşama taşıma modeli, bir üretim tesisinin iç lojistik süreçlerine dayanmakta olup, taşıma aracı seçimi konusunda karar vericilere alternatif çözümler sunmayı amaçlamaktadır. Modelin çözümünde dikkate alınan varsayımlar, kümeler, parametreler ve karar değişkenleri teknik olarak sunulmaktadır. Modelin çözümüne ilişkin varsayımlar şu şekildedir;

- Araçlar, heterojendir ve araçların taşıma kapasiteleri farklıdır.
- Araçların ortalama hızları birbirinden farklıdır.
- Araçların kullandığı yakıtların türleri birbirinden farklıdır.
- Araçların yakıt tüketim oranları, birbirinden farklıdır.
- Taşımayı gerçekleştirecek araçlar, depolarda hazır olarak beklemektedir.
- Müşteriler, dağıtımın ve talebin kesinlikle tek bir ziyarette yerine getirilmesini istemektedirler. Yani, dağıtım ve toplama talepleri bölünemez.
- Olumsuz, yol koşulları, araç arızası ve personelden kaynaklanabilecek durumların vb. olmadığı varsayılmaktadır.

- Hammaddelerin taşınacağı araç tipleri bellidir ve Tablo 9’da verildiği şekildedir;

**Tablo 9**

*Taşıt Tiplerinin Hammaddelere Göre Dağılımı*

| Hammadde | F | T | MTA |
|----------|---|---|-----|
| H01      |   | ✓ | ✓   |
| H02      | ✓ |   |     |
| H03      | ✓ |   |     |
| H04      | ✓ |   |     |
| H05      | ✓ |   |     |
| H06      |   |   | ✓   |
| H07      |   |   | ✓   |
| H08      | ✓ |   |     |
| H09      |   | ✓ | ✓   |
| İP01     | ✓ | ✓ |     |
| İP02     |   | ✓ |     |
| İP03     | ✓ | ✓ |     |
| İP04     | ✓ | ✓ |     |
| İP05     | ✓ | ✓ |     |
| SP01     | ✓ |   |     |
| SP02     |   |   | ✓   |
| SP03     |   |   | ✓   |
| SP04     |   |   | ✓   |
| SP05     |   | ✓ |     |
| SP06     |   | ✓ |     |
| SARF01   |   |   | ✓   |

### 2.3.2.1. Dengeli Taşıt Modeli

Bu tez çalışmasında kullanılan kümeler, skalar ifadeler, parametreler ve karar değişkenleri şu şekildedir:

#### Kümeler

H: Hammaddeler  $\in H$  (H: Tüm Hammaddelerin Kümesi)

R: Raf Bölmeleri  $\in R$  (R: Tüm Raf Bölmelerini Kümesi)

T: Taşıt Tipleri  $\in T$  (T: Tüm Taşıt Tiplerinin Kümesi)

#### İndisler

i,k: Noktalarda kullanılacak indikatörler

t: Taşıtlar için kullanılacak indikatör

## Skalar İfadeler

tk: Taşıma Yapılacak Raf Bölmesi Kapasitesi

## Parametreler

$C_{it}$ : i nolu Raf adresinden t nolu Taşıt ile yapılacak taşıma maliyeti

### 2.3.2.1.1. Dengeli Taşıt Modeli Karar Değişkenleri.

$i \in R$ : Raf Bölmeleri

$k \in H$ : Hammaddeler

$t \in T$ : Taşıt Tipleri

$$X_{it} = \begin{cases} 1, & i. \text{ boş raf bölümünden } t. \text{ taşıtla taşıyorsa,} \\ 0, & \text{diğer durumlarda,} \end{cases}$$

Bu karar değişkeni, her bir hammadde için bir taşıma işleminin gerçekleşip gerçekleşmediğini belirtmekte olup ikili (binary) yapıdadır. İkinci aşama modelinde karar değişkeni birinci modelde hammaddelerin atandığı raf bölmelerinden yapılacak taşıma işleminde kullanılacak taşıtın enerji maliyetini ifade eden binary değişken olması gerekir. Binary değişkenlerin oluşturulabilmesi için yeni bir matris düzeni gereklidir. Bu matrisi oluşturmak için öncelikle raf bölme adreslerine hangi hammaddelerin yerleştirildiği belirlenmiştir. Daha sonra hammaddelerin taşıyacak taşıt tipleri belirlenmiştir. Bu işlemden sonra raf bölmelerinden taşıma yapacak taşıt tiplerinin neler olduğu görülmüştür. Bu bilgiler kullanılarak dağıtım yapılmış olan raf bölme adresleri matrisin satırlarına, taşıt tipleri ise sütunlarına yerleştirilmiştir.

Bu matrisin örneği de aşağıdaki Şekil8’de görülmektedir. Matrisin satırlarında dağıtım yapılmış raf bölmeleri, sütunlarında ise taşıt tipleri yer alır. Burada dağıtım yapılmış bölme sayısı kadar satır, taşıt tipleri toplamı kadar sütun oluşur.

Buradaki dengeli taşıt modelinde 62 adet dağıtım yapılmış raf bölümü olduğu için i, 1’den 62’ye kadar yani 62 satır oluşur. i, 1’den 62’ye kadar olan her bir dağıtım yapılmış raf bölümünü gösterir. 62 değeri o anda sistem üzerinden dağıtım yapılmış raf bölmelerinin sayısını ifade eder.

$$i = \{ 1, 2, 3, \dots, 62 \}$$

Taşıt tipleri toplamı üç taşıt olduğu için üç sütun oluşur. t, 1’den 3’e kadar olan her bir taşıt tipini gösterir. F’den MTA’ya kadar olan sıralamayı göstermektedir.

$$t = \{ 1, 2, 3 \}$$

Burada  $X_{it}$ 'yi şu şekilde ifade edebiliriz. i. Boş raf bölümünden t. taşıtla taşıma yapıp yapılmama ihtimalidir.

$$X_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{i. boş raf bölümünden t. taşıtla taşınıyorsa,} \\ 0, & \text{diğer durumlarda,} \end{cases} \quad (2.34)$$

Model temelde bu şekilde tasarlandıktan sonra, taşıt tipine göre taşınacak hammaddelerin belirlenmesi gereklidir. k, 1'den 21'e kadar olan her bir hammadde cinsini gösterir. Tablo 10'da raf bölmelerinden taşınacak hammaddeler ve kullanılacak taşıt tipleri örnek tablosu verilmiştir. Buna göre R1-03-01, R1-03-02 ve R1-09-01 raf adreslerindeki SP01 kodlu hammadde forklift ile taşınmaktadır.

$$k = \{ 1, 2, 3, \dots, 21 \}$$

**Tablo 10**

*Dengeli Taşıt Modeli Raf Yerleşimine Göre Hammaddelerin Dağılımı*

| Model<br>Adı: KDT | H01 | H02 | H03 | H04 | H05 | H06 | H07 | H08 | H09 | İP01 | İP02 | İP03 | İP04 | İP05 | SP01 | SP02 | SP03 | SP04 | SP05 | SP06 | SARF01 | Taşıt<br>Tipi |
|-------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|---------------|
| R1-03-01          |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |        | F             |
| R1-03-02          |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |        | F             |
| R1-09-01          |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |        | F             |
| .                 | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .    | .    | .    | .    | .    | .    | .    | .    | .    | .    | .    | .      | .             |
| .                 | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .    | .    | .    | .    | .    | .    | .    | .    | .    | .    | .    | .      | .             |
| .                 | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .    | .    | .    | .    | .    | .    | .    | .    | .    | .    | .    | .      | .             |
| PR2-08-01         |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 1    |      |        | T             |

Modelde hammaddelerin taşınması için kullanılacak taşıt tipleri ile raf adresleri arasındaki ilişki tablosu çıkarıldıktan sonra raf bölmelerinde kullanılacak taşıt tiplerinin ataması için karar matrisi oluşturulmuştur. Belirlenen raf bölmelerinin adresleri matrise satır olarak eklenmiştir. Tablo 11'de de gösterildiği gibi matrisin satırlarında hammaddelerin stoklandığı raf bölmeleri, sütunlarında ise taşıt tipleri yer alır. Burada raf bölümü sayısı kadar satır, taşıt tipi kadar sütun oluşur. Karar değişkenleri; 62 raf bölümü  $i = \{ 1, 2, 3, \dots, 62 \}$  ve 3 taşıt  $t = \{ 1, 2, 3 \}$  için tanımlanmıştır. Modeldeki matris (62x3) boyutunda olup toplam karar değişkeni sayısı 186 adettir.

**Tablo 11**

*Dengeli Taşıt Modeli İçin Örnek Raf Yerleşimine Göre Hammaddelerin Dağılım Matrisi*

| Raf Adresi | F            | T            | MTA          |
|------------|--------------|--------------|--------------|
| R1-03-01   | $X_{(1,1)}$  | $X_{(1,2)}$  | $X_{(1,3)}$  |
| R1-03-02   | $X_{(2,1)}$  | $X_{(2,2)}$  | $X_{(2,3)}$  |
| R1-09-01   | $X_{(3,1)}$  | $X_{(3,2)}$  | $X_{(3,3)}$  |
| .          | .            | .            | .            |
| .          | .            | .            | .            |
| .          | .            | .            | .            |
| PR2-08-01  | $X_{(62,1)}$ | $X_{(62,2)}$ | $X_{(62,3)}$ |

### 2.3.2.1.2. Dengeli Taşıt Modeli Amaç Fonksiyonu.

Matematiksel modelin ikinci aşamasının amaç fonksiyonu, raf adreslerinden taşınan malzemelerin en uygun maliyetli taşıtla yapılmasını hedeflemektedir. Taşıma mesafesi maliyeti, raf bölmesi ile kapılar arasındaki mesafe parametreleri ile taşıtların enerji birim maliyetine göre hesaplanır. Modelde kullanılan amaç fonksiyonu aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır:

$$Z_{\min} = \sum_{i=1}^{62} \sum_{t=1}^3 X_{it} * C_{it} \quad (2.35)$$

Amaç fonksiyonu, taşıtların enerji maliyetini en aza indirerek depo içi lojistik süreçlerin daha verimli hale getirilmesini sağlamaktadır.

### 2.3.2.1.3. Dengeli Taşıt Modeli Kısıtları.

Dengeli Taşıt modelinin kısıtları, Dengeli Depo Slotlama modelinde olduğu gibi Karar Değişkenlerinin Binary Olma Kısıtı, Talep Miktarı Kısıtı, Kapıların Kapasite Kısıtı, Malzemelerin Belirli Kapılara Yönlendirilme Kısıtı ve Her Raf Bölmesinin Sadece Bir Kez Kullanılabilme Kısıtı olarak beş adettir.

#### Kısıt 1: Karar Değişkenlerinin Binary Olma Kısıtı

Bu kısıt, modelde kullanılan karar değişkeni  $X_{ij}$ , i numaralı raf bölmesinden t tipi taşıt ile taşıma yapılmasını gösteren ikili değişkendir. Yani, her bir raf bölmesinden taşıma yapılırken taşıtın kullanılıp kullanılmadığı **1** veya **0** ile ifade edilir. **1** değeri taşıtın kullanıldığını, **0** değeri ise taşıtın kullanılmadığını gösterir. Bu durum, modelin net ve

kesin sonuçlar üretmesini sağlar.

**Örnek:**

- **R1-03-01** raf bölmesinden **F1** taşıtı ile bir hammadde taşındığında, ilgili karar değişkeni:

$$X_{(R1-03-01, F1)}=1 \quad (2.36)$$

- Aynı raf bölmesinden **MTA1** taşıtı ile bir taşıma yapılmıyorsa:

$$X_{(R1-03-01, MTA1)}=0 \quad (2.37)$$

Matematiksel gösterimi şu şekildedir:

$$X_{it} \in \{0,1\} \forall i,t \quad (2.38)$$

$$X_{it}=1 \quad (2.39)$$

Burada:

- $X_{it}=1$ , eğer i-nolu raf bölmesinden t-nolu taşıtla taşıma yapılmışsa,
- $X_{it} = 0$ , eğer taşıma yapılmamışsa,

Bu kısıt, modelin lojistik süreçlerde kesin kararlar almasını sağlar ve çözümün doğruluğunu garanti etmektedir.

**Kısıt 2: Hammadde Cinsi Kısıtı**

Her bir taşıtın taşıyabileceği hammadde cinsi sabittir.

$$X_{it} \in \{ 1, 2, 3, \dots, 62 \}$$

$$t = \{ 1, 2, 3 \}$$

$$H_k \in \{ 1, 2, 3, \dots, 21 \}$$

**Örnek:**

- **Hammadde 1, F1 taşıtı ile** raf bölmesinden taşınacaktır. Bu hammadde yalnızca bu taşıtla taşınabilir.
  - Eğer **F1 taşıtı ile** taşındıysa:

$$H_1 X_{(R1-03-01, F1)}=1 \quad (2.40)$$

- Bu durumda, aynı raf bölmesinden diğer kapılara taşıma yapılmaz:

$$H_1 X_{(R1-03-01, T1)}=0, H_1 X_{(R1-03-01, MTA1)}=0 \quad (2.41)$$

Matematiksel gösterimi şu şekildedir;

$$\sum_{k=1}^{21} \sum_{i=1}^{62} \sum_{t=1}^3 H_k X_{it} = 0 \begin{cases} t=\{1\}, k=\{2,3,4,5,8,15\}, \\ t=\{2\}, k=\{11,19,20\}, \\ t=\{3\}, k=\{6,7,16,17,18,21\}, \\ t=\{1,2\}, k=\{10,13,14,15\}, \\ t=\{2,3\}, k=\{1,9\}, \end{cases} \quad (2.42)$$

Bu kısıt, hammaddelerin taşıma işlemlerinin tam ve doğru bir şekilde yapılmasını sağlar.

### Kısıt 3: Raf Bölmesi Kapasite Kısıtı

Raf bölmelerinden taşınacak maksimum hammadde miktarını sınırlar. Her taşıtın taşıma yapabileceği toplam raf bölme sayısının belirli bir kapasitesi vardır ve bu kapasitenin aşılması mümkün değildir.

#### Örnek:

- **F** taşıtının taşıma kapasitesi 50 birimdir. Bu taşıtla taşınacak hammaddelerin bulunduğu raf bölmeleri toplamı bu sınırı aşmamalıdır:
  - **R1-01-01** raf bölgesinden **F** taşıtı ile taşıma yapıldıysa:

$$T_1 X_{(R1-01-01)} = 1 \quad (2.43)$$

- **R2-05-02** raf bölgesinden Hammadde 3, AK1 kapısına taşındıysa:

$$T_1 X_{(R2-05-02)} = 1 \quad (2.44)$$

- Toplamda 50 farklı raf bölgesindeki hammadde taşındığında taşıt kapasitesi dolmuş olur. 50'den fazla taşıma yapılamaz:

$$T_1 X_{(R1-01-01)} = 1 + T_1 X_{(R2-05-02)} = 1 + \dots = 50 \quad (2.45)$$

Matematiksel gösterimi şu şekildedir:

$$\sum_{i=1}^{62} \sum_t^3 X_{it} = tk \begin{cases} t=\{1\}, tk=50, \\ t=\{2\}, tk=10, \\ t=\{3\}, tk=10, \end{cases} \quad (2.46)$$

Bu kısıt, raf bölmelerinin kapasite sınırlarını koruyarak taşıma işlemlerinin dengeli ve verimli bir şekilde yapılmasını sağlamaktadır.

Buraya kadar tanımlanan 62 raf bölgesinden oluşan senaryo dengelidir ve Dengeli Taşıt Modeli olarak adlandırılmıştır. Boş raf bölmesi sayısının artması durumlarını göz önüne

alınarak olası senaryolar oluşturulmuştur.

### 2.3.2.2. Kısmen Esnek Taşıt Modeli

#### 2.3.2.2.1. Kısmen Esnek Taşıt Modeli Karar Değişkenleri.

Bu modelde kullanılan karar değişkenleri, Dengeli Taşıt Modeli ile aynıdır. Ancak bu varyantta kullanılan raf bölmesi sayısı 68 olup, karar değişkeni matris boyutu Tablo 12’de gösterildiği biçimde genişlemektedir.

**Tablo 12**

*Kısmen Esnek Taşıt Modeli Raf Yerleşimine Göre Hammaddelerin Dağılımı*

| Model<br>Adı: RDT | H01 | H02 | H03 | H04 | H05 | H06 | H07 | H08 | H09 | İP01 | İP02 | İP03 | İP04 | İP05 | SP01 | SP02 | SP03 | SP04 | SP05 | SP06 | SARF01 | Taşıt<br>Tipi |
|-------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|---------------|
| R1-01-02          | 1   |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F             |
| R1-03-01          |     |     |     | 1   |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F             |
| R1-03-02          |     |     |     | 1   |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F             |
| .                 | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .    | .    | .    | .    | .    | .    | .    | .    | .    | .    | .    | .      | .             |
| .                 | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .    | .    | .    | .    | .    | .    | .    | .    | .    | .    | .    | .      | .             |
| .                 | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .    | .    | .    | .    | .    | .    | .    | .    | .    | .    | .    | .      | .             |
| PR2-08-01         |     |     |     |     |     |     |     |     | 1   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | T/MT<br>A     |

Buna göre Dengeli 62’lik modelde t değerinin sayısı sabit iken, kısmen esnek modelde i değeri 62’den 68’e yükselmektedir. Esnekleşen modelin dağılım matrisi Tablo 13’te gösterildiği gibi şekillenmiştir.

**Tablo 13**

*Kısmen Esnek Taşıt Modeli İçin Örnek Raf Yerleşimine Göre Hammaddelerin Dağılım Matrisi*

| Raf Adresi | F            | T            | MTA          |
|------------|--------------|--------------|--------------|
| R1-03-01   | $X_{(1,1)}$  | $X_{(1,2)}$  | $X_{(1,3)}$  |
| R1-03-02   | $X_{(2,1)}$  | $X_{(2,2)}$  | $X_{(2,3)}$  |
| R1-09-01   | $X_{(3,1)}$  | $X_{(3,2)}$  | $X_{(3,3)}$  |
| .          | .            | .            | .            |
| .          | .            | .            | .            |
| .          | .            | .            | .            |
| PR2-08-01  | $X_{(68,1)}$ | $X_{(68,2)}$ | $X_{(68,3)}$ |

$$X_{it} = \{ 1, 2, 3, \dots, 68 \}$$

$$t = \{ 1, 2, 3 \}$$

Boş raf bölmelerinin sayısının 68'e yükseldiği Kısmen Esnek Taşıt Modeli'nde karar değişkenleri; 68 raf bölmesi  $i = \{ 1, 2, 3, \dots, 68 \}$  ve 3 taşıt  $t = \{ 1, 2, 3 \}$  için tanımlanmıştır. Modeldeki matris (68x3) boyutunda olup toplam karar değişkeni sayısı 204 adettir.

#### 2.3.2.2.2. Kısmen Esnek Taşıt Modeli Amaç Fonksiyonu.

Matematiksel modelin ikinci aşamasının amaç fonksiyonu, raf adreslerinden taşınan malzemelerin en uygun maliyetli taşıtla yapılmasını hedeflemektedir. Taşıma mesafesi maliyeti, raf bölmesi ile kapılar arasındaki mesafe parametreleri ile taşıtların enerji birim maliyetine göre hesaplanır. Modelde kullanılan amaç fonksiyonu aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır:

$$Z_{\min} = \sum_{i=1}^{68} \sum_{t=1}^3 X_{it} * C_{it} \quad (2.47)$$

Amaç fonksiyonu, taşıtların enerji maliyetini en aza indirerek depo içi lojistik süreçlerin daha verimli hale getirilmesini sağlamaktadır.

#### 2.3.2.2.3. Kısmen Esnek Taşıt Modeli Kısıtları.

##### Kısıt 2: Hammadde Cinsi Kısıtı

Her bir taşıtın taşıyabileceği hammadde cinsi sabittir.

$$X_{it} = \{ 1, 2, 3, \dots, 68 \}$$

$$t = \{ 1, 2, 3 \}$$

$$H_k = \{ 1, 2, 3, \dots, 21 \}$$

$$\sum_{k=1}^{21} \sum_{i=1}^{68} \sum_{t=1}^3 H_k X_{it} = 0 \quad \begin{cases} t=\{1\}, k=\{2,3,4,5,8,15\}, \\ t=\{2\}, k=\{11,19,20\}, \\ t=\{3\}, k=\{6,7,16,17,18,21\}, \\ t=\{1,2\}, k=\{10,13,14,15\}, \\ t=\{2,3\}, k=\{1,9\}, \end{cases} \quad (2.48)$$

##### Kısıt 3: Raf Bölmesi Kapasite Kısıtı

Raf bölmelerinden taşınacak maksimum hammadde miktarını sınırlar. Her taşıtın taşıma yapabileceği toplam raf bölme sayısının belirli bir kapasitesi vardır ve bu kapasitenin

aşılması mümkün değildir. Matematiksel gösterimi şu şekildedir:

$$\sum_{i=1}^{68} \sum_t^3 X_{it} = tk \begin{cases} t=\{1\}, tk=50, \\ t=\{2\}, tk=10, \\ t=\{3\}, tk=10, \end{cases} \quad (2.49)$$

### 2.3.2.3. Esnek Taşıt Modeli

#### 2.3.2.3.1. Esnek Taşıt Modeli Karar Değişkenleri.

Bu modelde de karar değişkeni tanımı önceki varyantlarla aynıdır. Esnek taşıma yapısı kapsamında daha fazla raf bölmesi kullanıldığından, bu modelde 75 farklı raf bölmesi yer almakta ve toplam değişken sayısı Tablo 14’te gösterildiği gibi artmaktadır.

**Tablo 14**

*Esnek Taşıt Modeli Raf Yerleşimine Göre Hammaddelerin Dağılımı*

| Model Adı:<br>RE2T | H01 | H02 | H03 | H04 | H05 | H06 | H07 | H08 | H09 | İP01 | İP02 | İP03 | İP04 | İP05 | SP01 | SP02 | SP03 | SP04 | SP05 | SP06 | SARF01 | Taşı<br>t<br>Tipi |
|--------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|-------------------|
| R1-01-02           | 1   |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F                 |
| R1-03-01           |     |     |     | 1   |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F                 |
| R1-03-02           |     |     |     | 1   |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F                 |
| .                  | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .    | .    | .    | .    | .    | .    | .    | .    | .    | .    | .    | .      | .                 |
| .                  | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .    | .    | .    | .    | .    | .    | .    | .    | .    | .    | .    | .      | .                 |
| .                  | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .    | .    | .    | .    | .    | .    | .    | .    | .    | .    | .    | .      | .                 |
| PR2-08-01          |     |     |     |     |     |     |     |     | 1   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | T/M<br>TA         |

Buna göre 62’lik modele göre t değerinin sayısı sabit iken i değeri 62’den 75’e yükselmektedir.

Esnek modelin hammadde dağılım matrisi Tablo 15’te verilmiştir. Taşıt sayısı sabit kalmaktadır. Raf bölmelerinin sayısının 75’e yükseldiği Esnek Taşıt Modeli’nde karar değişkenleri; 75 raf bölmesi  $i = \{ 1, 2, 3, \dots, 75 \}$  ve üç taşıt  $t = \{ 1, 2, 3 \}$  için tanımlanmıştır. Modeldeki matris (75x3) boyutunda olup toplam karar değişkeni sayısı 225 adettir.

$X_{it}$   $i = \{ 1, 2, 3, \dots, 75 \}$

$t = \{ 1, 2, 3 \}$

**Tablo 15***Esnek Taşıt Modeli İçin Örnek Raf Yerleşimine Göre Hammaddelerin Dağılım Matrisi*

| Raf Adresi | F            | T            | MTA          |
|------------|--------------|--------------|--------------|
| R1-03-01   | $X_{(1,1)}$  | $X_{(1,2)}$  | $X_{(1,3)}$  |
| R1-03-02   | $X_{(2,1)}$  | $X_{(2,2)}$  | $X_{(2,3)}$  |
| R1-09-01   | $X_{(3,1)}$  | $X_{(3,2)}$  | $X_{(3,3)}$  |
| .          | .            | .            | .            |
| .          | .            | .            | .            |
| .          | .            | .            | .            |
| PR2-08-01  | $X_{(75,1)}$ | $X_{(75,2)}$ | $X_{(75,3)}$ |

**2.3.2.3.2. Esnek Taşıt Modeli Amaç Fonksiyonu.**

Matematiksel modelin ikinci aşamasının amaç fonksiyonu, raf adreslerinden taşınan malzemelerin en uygun maliyetli taşıtla yapılmasını hedeflemektedir. Taşıma mesafesi maliyeti, raf bölmesi ile kapılar arasındaki mesafe parametreleri ile taşıtların enerji birim maliyetine göre hesaplanır. Modelde kullanılan amaç fonksiyonu aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır:

$$Z_{\min} = \sum_{i=1}^{75} \sum_{t=1}^3 X_{it} * C_{it} \quad (2.50)$$

Amaç fonksiyonu, taşıtların enerji maliyetini en aza indirerek depo içi lojistik süreçlerin daha verimli hale getirilmesini sağlamaktadır.

**2.3.2.3.3. Esnek Taşıt Modeli Kısıtları.****Kısıt 2: Hammadde Cinsi Kısıtı**

Her bir taşıtın taşıyabileceği hammadde cinsi sabittir.

$$X_{it} \in \{ 1, 2, 3, \dots, 75 \}$$

$$t = \{ 1, 2, 3 \}$$

$$H_k = \{ 1, 2, 3, \dots, 21 \}$$

$$\sum_{k=1}^{21} \sum_{i=1}^{75} \sum_{t=1}^3 H_k X_{it} = 0 \quad \begin{cases} t=\{1\}, k=\{2,3,4,5,8,15\}, \\ t=\{2\}, k=\{11,19,20\}, \\ t=\{3\}, k=\{6,7,16,17,18,21\}, \\ t=\{1,2\}, k=\{10,13,14,15\}, \\ t=\{2,3\}, k=\{1,9\}, \end{cases} \quad (2.51)$$

### Kısıt 3: Raf Bölmesi Kapasite Kısıtı

Raf bölmelerinden taşınacak maksimum hammadde miktarını sınırlar. Her taşıtın taşıma yapabileceği toplam raf bölme sayısının belirli bir kapasitesi vardır ve bu kapasitenin aşılması mümkün değildir.

Matematiksel gösterimi şu şekildedir:

$$\sum_{i=1}^{75} \sum_t^3 X_{it} = tk \begin{cases} t=\{1\}, tk=50, \\ t=\{2\}, tk=10, \\ t=\{3\}, tk=10, \end{cases} \quad (2.52)$$

### 2.4. Senaryo Tasarımı ve Geliştirilmesi

İç lojistik süreçlerinin gerçek üretim ortamındaki değişken koşullara daha iyi uyum sağlayabilmesi için modelin esnekleştirilmesi hedeflenmiştir. Geliştirilen modelde üç farklı esneklik seviyesi (dengeli, kısmen esnek ve esnek) için senaryolar oluşturulmuş ve bunların taşıma mesafesi ve maliyeti üzerindeki etkileri karşılaştırılmıştır. Bu senaryolar, depo raflarının ve kapı yönlerinin kullanımının performansı nasıl etkilendiğini özel olarak göstermektedir.

Esnek bir model oluşturma'nın nedeni, üretim tesisleri arasındaki değişken malzeme akışlarını, anlık raf dolum oranlarını ve farklı üretim lokasyonlarındaki gereksinimleri karşılamaktır. Sabit yapılar dinamik depo ortamlarına yeterince uyum sağlayamamakta, bunun sonucunda daha uzun taşıma süreleri, artan enerji tüketimi ve boşa giden iş gücü ortaya çıkmaktadır. Bu olumsuzlukları en aza indirmek için esnek modeller tasarlanmıştır.

Raftan dağıtım modeli, hammaddelerin doğrudan raf bölümünden varış noktasına taşınmasına olanak sağlayarak depo taşıma adımlarını azaltır. Özellikle raf sisteminin geniş bir alana yayıldığı ve erişiminin zor olduğu büyük depolarda büyük avantaj sağlamaktadır. Depo giriş ve çıkış noktalarının lojistik merkez olarak kullanıldığı ve yoğun malzeme akışının tek noktadan yönlendirildiği durumlarda kapıdan dağıtım modeli daha verimli olmaktadır.

Modelin uygulama aşamasında hem depo slotlama hem de taşıt seçimi süreçleri için farklı esneklik seviyelerine sahip senaryolar geliştirilmiştir. Bu senaryolar, modelin gerçek üretim ortamlarındaki değişken koşullara duyarlılığını ve uygulanabilirliğini test etmek için yapılandırılmıştır. Her senaryo belirli yapısal parametreler değiştirilerek simüle edilmiş ve performans sonuçları karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir.

#### **2.4.1. Depo Slotlama Modeli Senaryoları**

Depo raflama stratejilerinin değişen depo esneklik seviyelerine göre nasıl değiştiğini göstermek için depo slotlama modeli senaryoları geliştirilmiştir. Bu bağlamda üç temel senaryo geliştirilmiştir:

##### **2.4.1.1. Dengeli Depo Slotlama Senaryosu (KD)**

- Depo içinde kullanılabilecek raf bölmesi sayısı **62** olarak belirlenmiştir.
- Bu senaryo mevcut sistem koşullarını yansıtan temel senaryo olarak ele alınmıştır.
- Operasyonel esneklik minimum seviyededir.

##### **2.4.1.2. Kısmen Esnek Depo Slotlama Senaryosu (KE1)**

- Kullanılabilir raf bölmesi sayısı **68**'e yükseltilmiştir.
- Hafıfletilmiş kapasite kısıtlarıyla sistemin daha verimli konumlandırmalar yapabilmesi sağlanmıştır.

##### **2.4.1.3. Esnek Depo Slotlama Senaryosu (KE2)**

- Depo içinde kullanılabilir raf bölmesi sayısı **75**'e çıkarılarak, en yüksek slotlama esnekliği sağlanmıştır.
- Modelin taşıma mesafesini minimize edebilmek için tercih ettiği en uygun raf yerleşimleri bu senaryoda gözlemlenmiştir.

Her senaryoda malzemeler, talep edilen üretim veya montaj alanına en kısa mesafede olacak şekilde raflara dağıtılarak Raf ve kapı koordinatları kullanılarak toplam taşıma mesafesi hesaplanmıştır. Böylece farklı raf kullanım düzeylerinde performans analizi gerçekleştirilmiştir. Bu analizlerin amacı, fiziksel depo yapısının kapasite esnekliğinin lojistik performansa olan etkisini belirlemektir.

#### **2.4.2. Taşıt Seçimi Modeli Senaryoları**

İkinci aşama modelinde ise araç seçimi senaryoları yapılandırılmış olup, depo yerleştirme modelinden elde edilen raf yerleşim yapısına göre hangi aracın malzemeleri hedef lokasyona taşıyacağına karar verilmiştir. Bu senaryolar, farklı raf yerleşim senaryolarına karşılık gelen taşıma görevlerine dayanmaktadır ve taşıma maliyetlerini en aza indirmeyi amaçlamaktadır.

#### 2.4.2.1. Dengeli Taşıt Seçim Senaryosu (KDT)

- KD senaryosunun çıktıları referans alınarak oluşturulmuştur.
- Dengeli taşıt modelindeki 62 raf bölmesinden yapılan taşımalarda, her bir taşıma işlemi için **forklift**, **transpalet** veya **malzeme taşıma arabası** seçeneklerinden en uygun olanı belirlenmiştir.

#### 2.4.2.2. Kısmen Esnek Taşıt Seçim Senaryosu (KE1T)

- KE1 depo slotlama senaryosunun taşıma görevlerine dayanır.
- Raf sayısının yükselmesi ile birlikte taşıma mesafeleri kısalmış ve daha fazla tercih edilen araçlar düşük maliyetli olanlar olmuştur.

#### 2.4.2.3. Esnek Taşıt Seçim Senaryosu (KE2T)

- KE2 senaryosu doğrultusunda en yüksek slotlama esnekliği altında taşıma işlemleri değerlendirilmiştir.
- Maliyet ve enerji verimliliği açısından en ideal taşıma kombinasyonlarının olduğu senaryo olmuştur.

Bu senaryolarda her araç tipinin taşıma kapasitesi, özgül enerji tüketimi, işletme hızı ve işçilik maliyeti dikkate alınarak toplam taşıma maliyeti hesaplanmıştır. Sonuçlar, sistem esnekliğinin sadece yerleşim stratejilerini değil, aynı zamanda uygun araç seçimi yoluyla maliyet etkinliğini de etkilediğini göstermektedir.

### 2.5. Bulguların Değerlendirilmesi

Geliştirilen iki aşamalı optimizasyon modelinin performansı farklı senaryolarda gerçekleştirilen uygulamalar ve analizlerle detaylı olarak değerlendirilmiştir. Modelin taşıma mesafesi, maliyet ve kaynak kullanımı üzerindeki etkisini somut olarak ortaya koymak için farklı esneklik seviyelerine sahip raf düzeni ve araç seçimi senaryoları karşılaştırılmıştır. Bu değerlendirme sürecinde sistemin operasyonel verimliliğe katkısı üç temel alanda incelenmiştir. Bu alanlar, taşıma mesafesindeki değişim, toplam maliyetlerdeki azalma ve bu değişimlerin yüzde olarak analiz edilerek iyileştirme düzeylerinin belirlenmesidir.

Mesafe iyileştirmelerine yönelik farklı esneklik seviyeleriyle geliştirilen senaryoların karşılaştırmalı analizi, özellikle taşıma mesafesi açısından önemli iyileştirmelerin

sağlandığını göstermektedir. Depo alanlarının esnek yapısı, malzemelerin daha kısa mesafelerden hedef üretim ve montaj noktalarına yönlendirilmesine olanak tanıyarak, genel nakliye rotalarının azaltılmasını sağlamıştır. Dengeli yapıya kıyasla, kısmen esnek ve tam esnek senaryolarda %4 ila %7 aralığında mesafe azalmaları gözlenmiştir. Bu, raf slotlama stratejilerinin fiziksel alan verimliliği ve lojistik performansı üzerindeki doğrudan etkisini açıkça göstermektedir.

Modelin ikinci aşamasını oluşturan taşıt seçimi sürecinde taşıma maliyetlerinin iyileştirilmesi amacıyla depo slotlama modelinden elde edilen verilere göre en uygun araçların atanması ile maliyet optimizasyonu sağlanmıştır. Esnek senaryolarda, daha stratejik yerleştirme kararları nedeniyle düşük maliyetli ve enerji tasarruflu araçların kullanım oranı artmıştır. Sonuç olarak dengeli bir yapıya kıyasla toplam taşıma maliyetlerinde %3 ila %6 oranında bir azalma sağlanmıştır. Bu maliyet tasarrufları hem yakıt/enerji tasarrufunu hem de işgücü verimliliğini kapsamaktadır.

Senaryo analizi sonucunda farklı esneklik seviyelerinin sistem performansına hem mesafe hem de maliyet açısından etkisi yüzde olarak değerlendirilmiştir. Esnek yapıların, mevcut sistem koşullarına kıyasla çok daha yüksek verimlilik seviyeleri sağladığı görülmüştür. Kısmen esnek yapılar dengeli sistemlere göre önemli iyileştirmeler sağlamıştır. Bu değerlendirmeler, modelin yalnızca sabit parametrelere dayalı teorik bir yapı olmadığını göstermekte olup pratik, sahaya uyarlanabilir ve karar vericilere rehberlik eden güçlü bir karar aracıdır.

Yapılan analizler, geliştirilen iki aşamalı modelin iç lojistik sistemlerinin performansını iyileştirmede etkili bir araç olduğunu açıkça ortaya koymuştur. Hem raf slotlama stratejilerinin hem de taşıt seçimi kararlarının senaryo değerlendirmesi, sistemin farklı esneklik seviyelerine nasıl yanıt verdiğine dair fikir vermiştir. Sonuçlar, karar vericilere operasyonel iyileştirme alanlarını somut verilerle gösteren ve sürdürülebilir lojistik yönetimi açısından uygulanabilir çözümler öneren sağlam bir karar destek çerçevesi sunmaktadır. Bu bağlamda model, sadece mevcut işletme koşullarına değil, aynı zamanda farklı üretim senaryolarına da uyarlanabilen esnek ve bütünsel bir yapı sunmaktadır.

## BÖLÜM 3.UYGULAMA VE BULGULAR

### 3.1. Uygulama Yapılan İşletmenin Tanıtımı

Bu tez kapsamında geliştirilen iki aşamalı depo optimizasyon modeli Sakarya ilinde faaliyet gösteren orta ölçekli bir üretim işletmesinde uygulanmıştır. Uygulama bulunan işletme, endüstriyel ürünlerin üretim ve montaj süreçlerine yönelik bir yapıya sahip olup, üretim faaliyetlerini tek bir entegre işletmede yürütmektedir. İşletmenin üretim süreci ağırlıklı olarak hammadde temini, yarı mamul imalatı ve son montaj aşamalarından oluşmaktadır.

İşletmeye lojistik destek organizasyonu üç ana lokasyondan oluşmaktadır: depo, üretim atölyeleri ve montaj hatları. Depo, tedarikçilerden gelen hammaddelerin teslim alındığı, depolandığı ve üretim alanlarına dağıtıldığı merkezi bir lojistik merkezi olarak konumlandırılmıştır. Depoda modern raf sistemleri olmasına rağmen raf adresleme sisteminin olmaması ve yerleşimin anlık kararlara dayalı olması verimsizliklere yol açmaktadır. Bu durum, malzeme arama süresinin artmasına ve depo taşımacılığı sırasında haksız yere zaman kaybına neden olmaktadır.

Üretim atölyeleri, hammaddelerin yarı mamul ürünlere dönüştürüldüğü üretim birimleridir. Bu atölyeler, fiziksel olarak depodan ayrı koşullarda faaliyet göstermekte olup, hammadde akışına uygun şekilde optimize edilmemiştir. Montaj hatları, depolardan ve üretim atölyelerinden doğrudan gelen parçalardan bitmiş ürünleri bir araya getirmektedir. Bu proseslerin sonunda yer alan kalite kontrol ve paketleme istasyonlarıyla üretim tamamlanmaktadır.

İşletmenin iç lojistik faaliyetleri büyük ölçüde manuel sistemlere dayanmaktadır. Dağıtım personeli bilgisayar sisteminden aldıkları listeler doğrultusunda hareket etmektedir. Ancak belirli bir ulaşım güzergahı veya araç dağıtım planı bulunmamaktadır. Bu durum bazen aynı üretim hattında birden fazla operatörün çalışmasına, araçların verimsiz kullanılmasına ve hatalı teslimatlara neden olmaktadır. Taşımacılık faaliyetleri, forklift, transpalet, malzeme taşıma arabaları gibi farklı yük kapasitelerine sahip araçlar kullanılarak gerçekleştirilmektedir; Ancak bu araçların seçiminde karar almaya yönelik sistematik bir destek bulunmamaktadır.

Şekil 2'de gösterilen Şirketin mevcut iç lojistik altyapısının fiziksel düzeni, model geliştirme süreci sırasında depo kapıları, raf bölmeleri, üretim alanları ve montaj hatları

arasındaki ilişkileri analiz etmek için birincil veri kaynağı olarak kullanılmıştır. Modelin uygulanabilirliğini ve pratik geçerliliğini artırmak için parametreleri saha gözlemleri ve operasyonel verilerle bütünleştirilmiştir. Bu bağlamda önerilen iki aşamalı optimizasyon modelinin, işletmenin mevcut lojistik yapısına entegrasyon yoluyla hem mesafe hem de maliyet açısından önemli iyileştirmeler sağlaması hedeflenmektedir.

### **3.2. Depo Yerleşimi ve Dağıtım Modelinin Uygulanması**

İşletmenin iç lojistik süreçlerini iyileştirmeye yönelik, gerçek saha verileri ve fiziksel yerleşim yapısı dikkate alınarak iki aşamalı bir optimizasyon modeli uygulanmıştır. Bu kapsamda, depo, üretim alanları ve montaj hatları arasındaki malzeme akışını temsil eden temel yerleşim yapısı analiz edilmiş, her departman için giriş/çıkış noktaları belirlenmiş ve taşıma sürecine ilişkin operasyonel veriler toplanmıştır. Modelin ilk aşamasında, hammaddelerin depo içindeki raf bölmelerine optimum şekilde yerleştirilmesi sağlanmış; İkinci aşamada bu yerleşimden elde edilen veri setine göre en uygun araç tipleri belirlenmiştir. Uygulama süreci, konum koordinatlarının uzaklık matrislerine dönüştürülmesi ve senaryolara dayalı yerleştirme ve taşıma modellerinin test edilmesi yoluyla gerçekleştirilmiştir. Böylece şirkete özgü ve uygulamaya uygulanabilir bir çözüm yapısı elde edilmiştir.

Bu bölümde öncelikle veri hazırlama süreci ve tesis yerleşiminin fiziksel yapısı ele alınmakta, ardından raf yerleşimi ve taşıma modelinin uygulamaları ayrıntılı olarak açıklanmaktadır. Son olarak bu modellerin senaryolara dayalı olarak nasıl test edildiği açıklanacaktır.

#### **3.2.1. Uygulama Öncesi Veri Hazırlığı ve Lokasyon Yapısı**

Modelin uygulamaya geçirilmesi aşamasında kullanılacak tüm veriler, işletmenin iç lojistik yapısının sahada gözlemlenmesi, çalışanlarla yapılan görüşmeler ve iç sistemlerden elde edilen çıktılar aracılığıyla toplanmıştır. Ayrıca tesis yerleşim planları ve üretim süreç dokümanları incelenerek, malzeme akışı, depo yapısı ve üretim alanlarının fiziksel düzeni detaylı olarak analiz edilmiştir. Bu süreçte, özellikle taşıma güzergahları, depo kapıları, raf sistemleri ve üretim noktaları arasındaki ilişkiler göz önünde bulundurularak, modellemede kullanılabilecek şekilde veri seti sistematik olarak yapılandırılmıştır.

İşletmenin iç lojistik faaliyetleri üç ana lokasyonda gerçekleştirilmektedir: depo, üretim

atölyeleri ve montaj hatları. Her lokasyon için giriş/çıkış noktaları olarak lokasyon kapıları belirlenmiş ve bu kapılar sistematik olarak kodlanmıştır. Modelde toplamda 10 adet kapı bulunmaktadır. Depoya ait üç kapı (DK1, DK2, DK3), imalat atölyelerine ait beş kapı (AK1–AK5) ve montaj hatlarına ait iki kapı (MK1, MK2) olmak üzere toplam on adet kapı modelde yer almaktadır. Kapılara ait X ve Y koordinatları belirlenerek Tablo 16’da gösterilmiştir.

**Tablo 16**

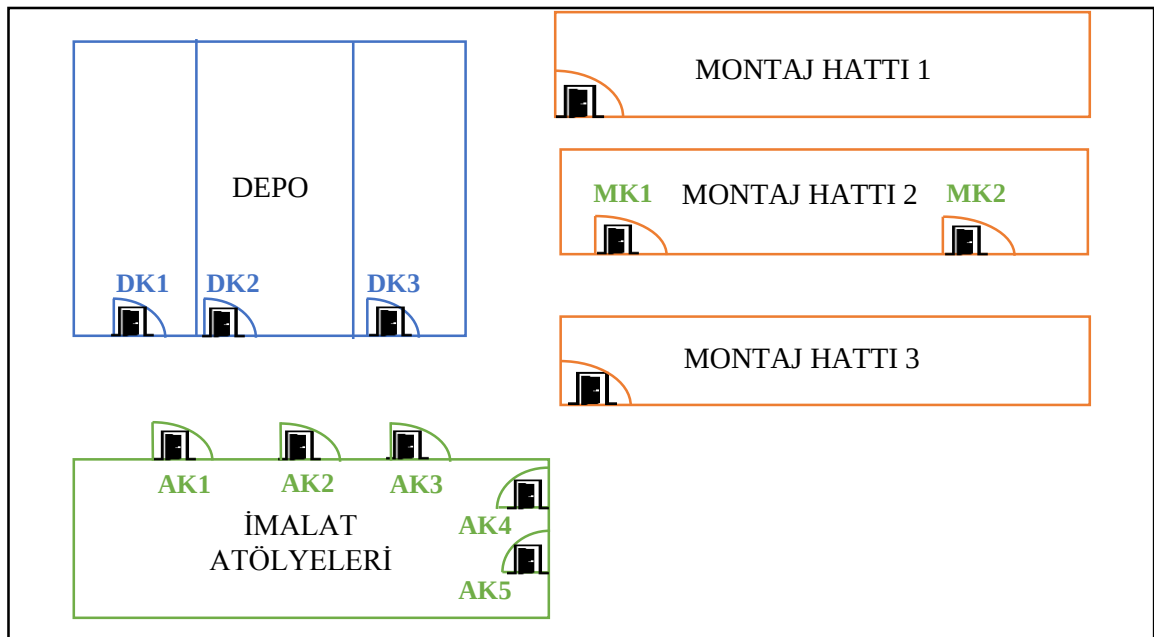
*Lokasyon Kapıları Koordinatları*

| KAPILAR | X,Y     | X (Mt) | Y (Mt) |
|---------|---------|--------|--------|
| DK1     | 20,85   | 20     | 85     |
| DK2     | 39,85   | 39     | 85     |
| DK3     | 92,85   | 92     | 85     |
| AK1     | 39,6    | 39     | 60     |
| AK2     | 70,6    | 70     | 60     |
| AK3     | 92,6    | 92     | 60     |
| AK4     | 138,6   | 138    | 60     |
| AK5     | 138,45  | 138    | 45     |
| MK1     | 160,202 | 160    | 202    |
| MK2     | 200,102 | 200    | 102    |

Tesis İçi Yerleşim Planı Şekil 9’da gösterildiği gibidir. Depo, İmalat Atölyeleri ve Montaj Hatları ve bu lokasyonlara giriş ve çıkış için kullanılan kapılar görülmektedir.

**Şekil 9**

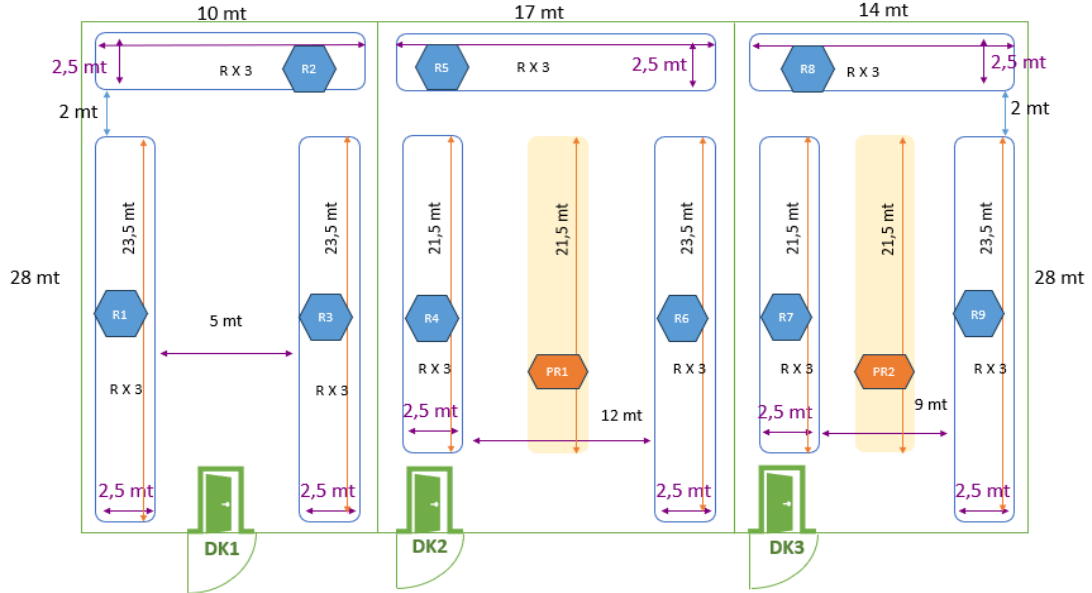
*Tesis İçi Yerleşim Planı*



Benzer şekilde depo raflarının konum bilgileri de aynı düzlemde belirlenerek koordinatları oluşturulmuştur. Bu koordinat bilgileri Ek 1'deki Raf Koordinatları tablosunda ayrıntılı olarak verilmiştir. Bu fiziksel yerleşim yapısı grafiksel olarak modellenerek, tesis içi ulaşım yapısını yansıtacak şekilde iki boyutlu yerleşim planı oluşturulmuştur. Depo içi raf yerleşim planı Şekil 10'da gösterildiği gibi olup, depo içerisindeki raf bölmeleri ve bu raf bölmelerine taşıma yapmak için kullanılan depo kapıları görülmektedir. Bu kapı ve raf koordinatlarına göre lokasyonlar arası mesafeler hesaplanarak taşıma mesafe matrisleri elde edilmiştir. Bu matrisler, modelin mesafe tabanlı optimizasyon çerçevesine çekirdek veri olarak entegre edilmiştir.

**Şekil 10**

*Depo İçi Raf Yerleşim Planı*



Üretim sürecinde kullanılan hammaddeler, tasarlanan yeni modelde nihai kullanım alanlarına göre iki gruba ayrılmıştır. Lokasyonlara göre gönderilecek malzemelerin belirlenmesi için malzeme grupları oluşturulmuştur.

**1. Grup Malzemeler:** H2, H3, H4 ve H5, Depo bölümünden İmalat Atölyelerine taşınmaktadır.

**2. Grup Malzemeler:** H1, H6, H7, H8, H9, İP01, İP02, İP03, İP04, İP05, SP01, SP02, SP03, SP04, SP05, SP06 ve SARF01 Depo bölümünden Montaj Hatlarına taşınmaktadır.

Her bir hammaddenin ilgili üretim birimine olan günlük ihtiyacı, işletme ERP sisteminden alınan üretim planları doğrultusunda belirlenmiştir. Bu analizde sadece

çalışma kapsamında değerlendirilen ürün dikkate alınmış ve günlük 8.000 adet üretim kapasitesi varsayılmıştır. Bu üretim hacmine göre her malzeme için gerekli olan miktarlar hesaplanmıştır. Lokasyon, Malzeme ve Talep ile İlgili Değişkenler ve Kodları listesi Tablo 17’de verilmiştir. Bu veriler, slotlama modelinde kullanılacak olan talep parametrelerinin oluşturulmasında kullanılmış ve her malzemenin depo içerisindeki yerleşim kararına doğrudan etki etmiştir.

**Tablo 17**

*Lokasyon, Malzeme ve Talep ile İlgili Değişkenler ve Kodları*

|         |               | Depo Lokasyon Kodları |     |     | Talep Eden Lokasyon Kodları<br>İmalat Atölyeleri |     |     |     |     | Talep Eden Lokasyon Kodları<br>Montaj |     |
|---------|---------------|-----------------------|-----|-----|--------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|---------------------------------------|-----|
| Malzeme | Talep Miktarı | DK1                   | DK2 | DK3 | AK1                                              | AK2 | AK3 | AK4 | AK5 | MK1                                   | MK2 |
| H1      | 8 Kg          | ✓                     | ✓   | ✓   |                                                  |     |     |     |     | ✓                                     | ✓   |
| H6      | 1,6 Kg        | ✓                     | ✓   | ✓   |                                                  |     |     |     |     | ✓                                     | ✓   |
| H7      | 1 Kg          | ✓                     | ✓   | ✓   |                                                  |     |     |     |     | ✓                                     | ✓   |
| H8      | 204 Kg        | ✓                     | ✓   | ✓   |                                                  |     |     |     |     | ✓                                     | ✓   |
| H9      | 13 Kg         | ✓                     | ✓   | ✓   |                                                  |     |     |     |     | ✓                                     | ✓   |
| İP01    | 16.000 Adet   | ✓                     | ✓   | ✓   |                                                  |     |     |     |     | ✓                                     | ✓   |
| İP02    | 8.000 Adet    | ✓                     | ✓   | ✓   |                                                  |     |     |     |     | ✓                                     | ✓   |
| İP03    | 8.000 Adet    | ✓                     | ✓   | ✓   |                                                  |     |     |     |     | ✓                                     | ✓   |
| İP04    | 8.000 Adet    | ✓                     | ✓   | ✓   |                                                  |     |     |     |     | ✓                                     | ✓   |
| İP05    | 8.000 Adet    | ✓                     | ✓   | ✓   |                                                  |     |     |     |     | ✓                                     | ✓   |
| SP01    | 8.000 Adet    | ✓                     | ✓   | ✓   |                                                  |     |     |     |     | ✓                                     | ✓   |
| SP02    | 16.000 Adet   | ✓                     | ✓   | ✓   |                                                  |     |     |     |     | ✓                                     | ✓   |
| SP03    | 8.000 Adet    | ✓                     | ✓   | ✓   |                                                  |     |     |     |     | ✓                                     | ✓   |
| SP04    | 8.000 Adet    | ✓                     | ✓   | ✓   |                                                  |     |     |     |     | ✓                                     | ✓   |
| SP05    | 800 Adet      | ✓                     | ✓   | ✓   |                                                  |     |     |     |     | ✓                                     | ✓   |
| SP06    | 66 Adet       | ✓                     | ✓   | ✓   |                                                  |     |     |     |     | ✓                                     | ✓   |
| SARF01  | 1 Kg          | ✓                     | ✓   | ✓   |                                                  |     |     |     |     | ✓                                     | ✓   |
| H2      | 208 Kg        | ✓                     | ✓   | ✓   | ✓                                                | ✓   | ✓   | ✓   | ✓   |                                       |     |
| H3      | 6,2 Kg        | ✓                     | ✓   | ✓   | ✓                                                | ✓   | ✓   | ✓   | ✓   |                                       |     |
| H4      | 172 Kg        | ✓                     | ✓   | ✓   | ✓                                                | ✓   | ✓   | ✓   | ✓   |                                       |     |
| H5      | 21 Kg         | ✓                     | ✓   | ✓   | ✓                                                | ✓   | ✓   | ✓   | ✓   |                                       |     |

Depo Kapıları ve Atölyeler/Montaj Hatları arası uzaklıklar matrisi Tablo 18’de

gösterilmiştir.

**Tablo 18**

*Depo Kapıları ve Atölyeler/Montaj Hatları Arası Uzaklıklar Matrisi*

|     | DK1    | DK2    | DK3    | AK1    | AK2    | AK3    | AK4    | AK5    | MK1    | MK2    |
|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| DK1 | 0,00   | 19,00  | 72,00  | 31,40  | 55,90  | 87,09  | 120,62 | 124,60 | 182,45 | 180,80 |
| DK2 | 19,00  | 0,00   | 53,00  | 25,00  | 39,82  | 72,18  | 102,11 | 106,78 | 168,32 | 161,90 |
| DK3 | 72,00  | 53,00  | 0,00   | 58,60  | 33,30  | 49,00  | 52,35  | 60,96  | 135,33 | 109,33 |
| AK1 | 31,40  | 25,00  | 58,60  | 0,00   | 31,00  | 58,18  | 99,00  | 100,13 | 186,56 | 166,39 |
| AK2 | 55,90  | 39,82  | 33,30  | 31,00  | 0,00   | 32,56  | 68,00  | 69,63  | 168,12 | 136,62 |
| AK3 | 87,09  | 72,18  | 49,00  | 58,18  | 32,56  | 0,00   | 51,88  | 46,87  | 179,39 | 126,57 |
| AK4 | 120,62 | 102,11 | 52,35  | 99,00  | 68,00  | 51,88  | 0,00   | 15,00  | 143,69 | 74,89  |
| AK5 | 124,60 | 106,78 | 60,96  | 100,13 | 69,63  | 46,87  | 15,00  | 0,00   | 158,53 | 84,22  |
| MK1 | 182,45 | 168,32 | 135,33 | 186,56 | 168,12 | 179,39 | 143,69 | 158,53 | 0,00   | 107,70 |
| MK2 | 180,80 | 161,90 | 109,33 | 166,39 | 136,62 | 126,57 | 74,89  | 84,22  | 107,70 | 0,00   |

Ek 1’de verilen tablodaki raf bölmesi koordinatları referans alınarak Depo İçindeki Kullanılmaya Uygun Olan Boş Raf Bölmeleri ve İmalat Atölyeleri/Montaj Hatları arası uzaklıklar Ek 2’de gösterilmiştir. Her bir hammadde grubu için uzaklıklar matrisi oluşturulmuştur. 1.Grup Hammaddeler için Depo kapılarından İmalat Atölyelerine ve Montaj Hatlarına olan mesafeleri gösteren Kapıdan Atölyeye Dağıtım Uzaklıklar Matrisi Tablo 19’da verilmiştir.

**Tablo 19**

*1.Grup Kapıdan Atölyeye Dağıtım Uzaklıklar Matrisi*

|     | AK1  | AK2  | AK3  | AK4   | AK5   |
|-----|------|------|------|-------|-------|
| DK1 | 31,4 | 55,9 | 87,1 | 120,6 | 124,6 |
| DK2 | 25,0 | 39,8 | 72,2 | 102,1 | 106,8 |
| DK3 | 58,6 | 33,3 | 49,0 | 52,4  | 61,0  |

1.Grup Hammaddeler için Depo İçi Raf Bölmelerinden İmalat Atölyelerine ve Montaj Hatlarına olan mesafeleri gösteren Raftan Atölyeye Dağıtım Uzaklıklar Matrisi Tablo 20’de verilmiştir. Depo yerleşimine göre yalnızca 1.Grup Hammaddeler için DK1 noktası depo çıkış kapısı olarak kullanılmakta olup, tüm malzeme akışı bu noktadan başlatılmaktadır. Bu nedenle, tüm raf konumlarından atölye ve montaj hatlarına olan uzaklıklar DK1 referans alınarak hesaplanmıştır.

**Tablo 20***1.Grup Raftan Atölyeye Dağıtım Uzaklıklar matrisi*

| Depo Kapısı | Raf Adresi | AK1   | AK2    | AK3    | AK4    | AK5    |
|-------------|------------|-------|--------|--------|--------|--------|
| DK1         | R1-03-01   | 33,51 | 49,00  | 67,13  | 109,81 | 115,06 |
| DK1         | R1-03-02   | 33,51 | 49,00  | 67,13  | 109,81 | 115,06 |
| DK1         | R1-09-01   | 49,94 | 62,19  | 78,15  | 118,37 | 124,96 |
| DK1         | R1-10-01   | 52,68 | 64,51  | 80,12  | 119,90 | 126,70 |
| DK1         | R1-13-01   | 60,91 | 71,60  | 86,24  | 124,68 | 132,08 |
| DK1         | R1-13-02   | 60,91 | 71,60  | 86,24  | 124,68 | 132,08 |
| DK1         | R1-14-01   | 63,65 | 74,01  | 88,33  | 126,34 | 133,92 |
| DK1         | R1-14-02   | 63,65 | 74,01  | 88,33  | 126,34 | 133,92 |
| DK1         | R2-01-01   | 90,35 | 112,76 | 131,40 | 173,45 | 179,22 |
| DK1         | R2-01-02   | 90,35 | 112,76 | 131,40 | 173,45 | 179,22 |
| DK1         | R2-02-01   | 88,25 | 110,45 | 129,03 | 171,01 | 176,82 |
| DK1         | R2-02-02   | 88,25 | 110,45 | 129,03 | 171,01 | 176,82 |
| DK1         | R2-03-01   | 86,16 | 108,15 | 126,65 | 168,57 | 174,42 |
| DK1         | R3-01-01   | 38,23 | 28,21  | 38,93  | 78,58  | 84,97  |
| DK1         | R3-02-01   | 40,45 | 30,93  | 41,12  | 80,05  | 86,73  |
| DK1         | R3-03-01   | 42,71 | 33,65  | 43,36  | 81,56  | 88,53  |
| DK1         | R3-04-01   | 45,01 | 36,38  | 45,64  | 83,11  | 90,37  |
| DK1         | R3-08-01   | 54,55 | 47,30  | 55,09  | 89,73  | 98,01  |
| DK1         | R3-12-01   | 64,47 | 58,25  | 64,95  | 96,92  | 106,08 |

2.Grup Hammaddeler için Depo kapılarından İmalat Atölyelerine ve Montaj Hatlarına olan mesafeleri gösteren Kapıdan Montaja Dağıtım Uzaklıklar Matrisi Tablo 21’de verilmiştir. 2.Grup Hammaddeler için Depo kapılarından İmalat Atölyelerine ve Montaj Hatlarına olan mesafeleri gösteren Raftan Montaja Dağıtım Uzaklıklar Matrisi ise Ek 3’te verilmiştir.

**Tablo 21***2.Grup Kapıdan Montaja Dağıtım Uzaklıklar Matrisi*

|     | MK1    | MK2    |
|-----|--------|--------|
| DK1 | 182,45 | 180,8  |
| DK2 | 168,32 | 161,9  |
| DK3 | 135,33 | 109,33 |

Yöntem bölümünde genel yapısı tanımlanan iki aşamalı modelde, işletmede kullanılan araçların teknik özellikleri, taşıma sürecine ilişkin karar değişkenlerinin oluşturulmasında baz alınmaktadır. Uygulama yapılan işletmede depo taşıma işlemlerinde forklift, transpalet ve malzeme taşıma arabası olmak üzere üç farklı araç tipi kullanılmaktadır. Bu araçlar işletmedeki taşıma görevlerinin mesafe ve yük

kapasitesi ihtiyaçlarına göre seçilmektedir. Taşıma kısıtları, her aracın teknik taşıma kapasitesi dikkate alınarak modelde belirlenmektedir. Forklift için 2000 kg, transpalet için 1600 kg, malzeme taşıma arabası için ise 300 kg taşıma kapasitesi esas alınmıştır.

Modelde ele alınan araçların yeri yöntem bölümünde teorik düzeyde açıklanmakla birlikte, uygulama aşımasında bu teknik bilgi saha verileriyle doğrulanmakta ve işletmenin gerçekte kullandığı araçlara karşılık gelen parametreler modele entegre edilmektedir. Ayrıca her araç farklı enerji kaynaklarıyla çalışmakta ve bu durum doğrudan ulaşım maliyetlerini etkilemektedir. Forklift dizel yakıtla çalışırken, transpalet elektrikle çalışmaktadır. Malzeme taşıma arabası ise manuel olarak kullanılmaktadır.

Bu farklılıklar göz önüne alınarak her bir taşıma türü için enerji tüketimi ve çalışma süresi dikkate alınarak birim taşıma maliyetleri hesaplanmıştır. İlgili hesaplamalarda 02.12.2024 tarihi itibarıyla kullanılan güncel piyasa verileri (dizel litre fiyatı, elektrik birim fiyatı ve saatlik işçilik creti) kullanılarak elde edilen bu maliyet parametreleri, taşıma modelinde karar değişkenlerine dönüştürülerek, hem enerji verimliliği hem de maliyet minimizasyonu sağlanacak şekilde en uygun aracın seçilmesine olanak sağlanmıştır.

Tüm veri hazırlama süreci, işletmede yapılan saha gözlemleri, üretim ve depo yöneticileriyle yapılan bireysel görüşmeler ve kurumsal bilgi sistemlerinden elde edilen sonuçlar esas alınarak gerçekleştirilmiştir. Özellikle fiziksel yerleşim yapısı, araç kullanım sıklığı, operatör görev planları ve malzeme dağıtım sırası gibi uygulamaya özgü bilgiler bu süreçte doğrudan yerinde gözlemlenerek doğrulanmıştır. Ayrıca ERP sisteminden alınan üretim planları, malzeme ihtiyaç listeleri ve nakliye görev kayıtları model veri yapısına entegre edilmiştir. Elde edilen bu çok değişkenli veri seti, hem yerleştirme modeli hem de taşıma modeli çerçevesine doğrudan entegre edilmiştir. Bu tez kapsamında geliştirilen optimizasyon modeli, karar değişkenlerinin tanımlanması, kısıtların uygulanması ve senaryo analizlerinin gerçekleştirilmesi amacıyla Microsoft Excel 2010 yazılımı üzerinde yapılandırılmıştır. Slotlama modeli raf yerleştirme kararlarını talep ve mesafeye göre verirken, taşıma modeli bu yerleşimden elde edilen lojistik dağıtım verilerine göre en uygun araç tiplerini belirlemektedir. Böylece model, hem lokasyon planlamasını hem de işletme maliyetlerini dikkate alan iki aşamalı bütünleşik bir yapıya kavuşmuştur.

### **3.2.2. Depo Slotlama Modelinin Uygulanması**

Depo slotlama modeli, hammaddelerin depo içerisinde raflara en kısa taşıma mesafesini sağlayacak şekilde yerleştirilmesini amaçlayan bir optimizasyon yaklaşımıdır. Modelin temel amacı, malzeme akış süreçlerinde toplam taşıma mesafesini azaltarak depo lojistiği operasyonlarını daha verimli hale getirmektir. Bu doğrultuda, talebin yapıldığı firmanın fiziksel depo planı, üretim alanlarının konumu ve günlük ihtiyaç duyulan hammadde miktarları dikkate alınarak geliştirilen model yapılandırılmıştır. Uygulamada, firmada hali hazırda boş olan raflara yerleştirme işlemi yapılmış ve her malzeme sadece hedef atölye/montaj kapısına alanına gönderilmiştir.

Geliştirilen depo slotlama modeli, hammaddelerin atölye/montaj kapılarına en kısa mesafede olacak şekilde uygun raflara yerleştirilmesini amaçlayan bir doğrusal programlama modelidir. Modelin temel karar değişkeni hangi rafın hangi hammadde türünü tutacağını belirlemektedir. Bu bağlamda karar değişkenleri üç boyutlu bir yapı ile tanımlanmıştır: hammadde türü (k), raf (i) ve çıkış kapısı (j). Her bir kombinasyon için bir atama kararı oluşturuldu ve bu değişkenler modelin çözümünde kullanılmıştır.

Model veri seti, tesisin depo yerleşim planı, üretim alanı kapılarının konumu ve günlük hammadde gereksinimleri esas alınarak oluşturulmuştur. Raf ve kapı konumlarının X-Y koordinatları baz alınarak her bir raf-kapı çifti için taşıma mesafeleri hesaplanmış ve bu değerler modelin amaç fonksiyonunun katsayıları olarak kullanılmıştır. Bu nedenle modelin amacı, her türlü hammaddenin yerleştirilmesi kararlarından kaynaklanacak toplam taşıma mesafesinin en aza indirilmesi olarak tanımlanmıştır.

Ayrıca her hammadde türünün yalnızca kendisine atanan üretim hedefine yönlendirilebilmesi için rota kısıtlamaları tanımlanmıştır. Ayrıca modelde her raf bölmesine yalnızca bir malzeme atanması ve günlük üretim talebini karşılayacak sayıda yerleşim yapılması yönünde kısıtlamalar da yer almaktadır. Yöntem bölümünde anlatılan genel model yapısına göre uygulamaya karşılık gelen parametreler ve yapı aktarılmıştır.

Slotlama modelinin uygulanabilirliğini test etmek için üç farklı senaryo geliştirilmiştir. Bu senaryolar, depodaki mevcut rafların kullanım durumu ve sistemin esneklik seviyesi dikkate alınarak oluşturulmuştur. Amaç, modelin farklı alan kullanım seviyelerinde nasıl performans göstereceğini karşılaştırmaktır.

Birinci senaryo, işletmede mevcut 62 raf kullanılarak dengeli senaryo (KD) olarak

oluşturulmuştur. Bu senaryoda esneklik sınırlıdır ve model, sınırlı alan göz önünde bulundurulduğunda mümkün olan en iyi düzeni sağlamayı amaçlamaktadır. Dengeli senaryo, sistemin mevcut durumunu yansıtması açısından bir referans yapı olarak ele alınmıştır.

İkinci senaryo olan kısmen esnek senaryo (KE1) ise toplam 68 raf bölmesinin kullanımına izin vermektedir. Bu yapı sistemde belli bir rahatlama sağlayarak malzemelerin daha verimli raflara yerleştirilmesine olanak sağlamaktadır. Bu senaryo, dengeli yapıdan sapmadan kısıtların hafifletildiği bir iyileştirme yaklaşımı olarak modellenmiştir.

Üçüncü ve son senaryo olan esnek senaryo (KE2), 75 raf bölmesinin aktif olarak kullanılabileceği durumu temsil etmektedir. Bu yapıda sistemin en esnek hali test edilmiş ve modelin en az taşıma mesafesini elde etmek için önerdiği yerleşim tipleri analiz edilmiştir. Her üç senaryo da aynı veri yapısı ve model kısıtları kullanılarak çözülmüş ve sadece mevcut raf bölmesi sayısının değiştirilmesinin model çıktısı üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir.

### **3.2.3. Taşıma Modeli ve Araç Tipi Seçimi**

Slotlama modeli ile elde edilen raf yerleşim yapısı temel alınarak, malzeme taşıma operasyonlarında hangi aracın kullanılacağına karar vermek için ikinci bir optimizasyon modeli geliştirilmiştir. Bu modelin temel amacı, hammaddelerin raf bölmelerinden üretim alanlarına taşınması sırasında ortaya çıkacak toplam nakliye maliyetlerini en aza indirmektir. Taşıma sürecinde kullanılan araçların taşıma kapasitesi, enerji tüketimi, işgücü gereksinimleri gibi faktörler göz önünde bulundurularak her malzeme için en uygun araç tipinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Taşıma modeli, yerleştirme modelinden elde edilen raf yerleşim kararlarına dayanarak her malzeme için hangi taşıma aracının kullanılacağına karar veren doğrusal bir programlama yapısıdır. Modelin karar değişkeni, belirli bir ulaşım probleminde kullanılacak araç tipini temsil etmektedir. Buna göre her hammadde, raf bölmesi ve kapı uyumu için kullanılabilecek araçlar arasından seçim yapılması hedeflenmiştir. Bu yapıya ilişkin senaryolara göre oluşturulan hammadde–raf bölmesi–taşıt tipi eşleşmelerini gösteren dağılım tabloları, Kapıdan dağıtım taşıt modeli varyantları KDT, KE1T ve KE2T için Ek 5, Ek 6 ve Ek 7’de ve Raftan dağıtım taşıt modeli varyantları olan RDT, RE1T ve RE2T için ise Ek 8, Ek 9 ve Ek 10’da sunulmuştur.

Modelin parametreleri arasında taşıma mesafeleri, araç kapasiteleri, enerji türleri, işgücü gereksinimleri ve birim taşıma maliyetleri gibi değişkenler yer almaktadır. Taşıma mesafeleri raf bölmeleri ile depo, atölye ve montaj kapılarının konum koordinatlarına göre hesaplanmıştır. Maliyet unsurları her araç tipi için dizel yakıt, elektrik veya işçilik maliyetlerine göre belirlenmiştir.

Modelin amaç fonksiyonu, tüm taşıma operasyonları sonucu ortaya çıkacak toplam maliyeti en aza indirgeyen bir fonksiyondur. Ayrıca modelde her taşıma görevine yalnızca bir aracın atanması ve araçların kapasite sınırlarını aşmaması koşulu gibi kısıtlamalar yer almaktadır. Bu şekilde, taşıma süreciyle ilgili maliyet optimizasyonu, yerleştirme modeliyle oluşturulan fiziksel yerleşim planına entegre edilmektedir.

Taşıma modelinde de slotlama modelinde olduğu gibi üç farklı senaryo kullanılarak analiz gerçekleştirilmiştir. Bu senaryolar, slotlama modelini izleyen raf düzeni yapılarına uyacak şekilde yapılandırılmıştır. Her senaryo, farklı raf kullanım seviyeleri ve malzeme yerleştirme içeren taşıma görevleri için en uygun araçları seçmek amacıyla çalıştırılmıştır.

Birinci senaryo olan KDT (Dengeli Taşıt Senaryosu), yerleştirme modelinde oluşturulan dengeli slotlama yapısına (KD) karşılık gelmektedir. Bu yapı, bir depoda bulunan 62 raf bölmesine malzemelerin yerleştirilmesinden sonra ortaya çıkan taşıma görevlerine dayanmaktadır. Model, her bir taşıma operasyonu için en uygun aracı belirleyerek toplam taşıma maliyetini en aza indirmeyi amaçlamaktadır.

İkinci senaryo olan KE1T (kısmen esnek taşıt senaryosu), kısmen esnek bir raf (KE1) kullanılarak oluşturulan taşıma görevlerine dayanmaktadır. Raf sayısının artmasıyla birlikte malzemelerin depo içerisinde daha stratejik noktalara yerleştirilmesi mümkün olacağından, bu senaryonun daha kısa mesafelere ve daha düşük maliyetli taşımaya olanak sağlaması beklenmektedir.

Üçüncü senaryo olan KE2T (esnek taşıt senaryosu), yerleştirme modelinin en esnek versiyonu olan KE2 senaryosu kullanılarak oluşturulmuştur. Bu senaryoda 75 adet raf bölmesi aktif olarak kullanılmış olup, taşıma görevleri, modelin sağlayabileceği en yüksek esneklik seviyesiyle yeniden optimize edilmiştir.

Her üç senaryo da aynı veri yapısı, maliyet parametreleri ve kısıtlarla çalıştırılmış ve sadece rafların ve taşınacak malzemelerin kombinasyonları değiştirilerek modelin performansı analiz edilmiştir.

Bu iki aşamalı yapı sayesinde, raf yerleşimi ve taşıma aracı seçimi birbirini tamamlayacak şekilde bütünleştirilmiş ve modelin farklı senaryolar altında nasıl performans gösterdiği bir sonraki bölümde karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir.

### **3.3. Farklı Senaryolar ile Modelin Test Edilmesi**

Lojistik süreçlerin verimliliğini artırmak için senaryolar ve model varyasyonları iki temel kategoriye ayrılmıştır: Depolama ile ilgili atama modelleri ve taşıt seçimi modelleri. Bu kategoriler, lojistik sürecinin farklı aşamalarının iyileştirilmesi için tamamlayıcı yöntemler sunmaktadır. Depolamaya yönelik model, depolama alanlarındaki ürünlerin etkin bir şekilde yönetilmesini hedeflerken, taşıt seçimi modeli ise dağıtım sürecinde kullanılacak araçların doğru şekilde tahsis edilmesini amaçlamaktadır.

Depolamaya ilişkin atama modeli, kapıdan dağıtım (K) ve raftan dağıtım (R) modellerine dayanarak geliştirilmiştir. Bu modeller, farklı operasyonel ihtiyaçlara uyum sağlamak amacıyla dengeli (KD) ve (RD) kısmen esnek (KE1) ve (RE1) ile esnek (KE2) ve (RE2) varyantlarla desteklenmektedir. Bu bağlamda KD, KE1, KE2, RD, RE1 ve RE2, varyantları çeşitli senaryolarda depolama operasyonlarını optimize edebilmektedir. Araç seçim modeli genel bir model yapısı baz alınarak depolama varyantları ile entegre edilmiştir. Bu nedenle depolama prosesine göre tasarlanan taşıt seçim modelleri KDT, KE1T, KE2T, RDT, RE1T ve RE2T varyantları ile analiz edilmiştir. Bu varyasyonlar, taşıma sürecinde kullanılan araçların depolama planına ve operasyonel esneklik düzeyine göre tahsis edilmesini sağlar.

Sonuç olarak senaryolar ve model varyantları, hem depolama hem de taşıma aşamalarında lojistik süreçlerinin optimize edilmesine yönelik bütünsel bir yaklaşım sunmaktadır. Kapıdan dağıtım ve raftan dağıtım modelleri çeşitli esneklik seviyelerine ulaşırken, depolama süreçlerinin verimliliği artmış ve araç toplayıcı modelleri bu süreçlere entegre edilerek dağıtım operasyonlarının daha verimli yönetilmesine katkı sağlanmıştır. Bu kapsamlı yaklaşım, lojistik süreçlerinde karar alma mekanizmalarını destekleyen kritik bir altyapı oluşturmaktadır. Tablo 22’de araştırmada ele alınan senaryoların ve model varyantlarının sınıflandırması sunulmaktadır. İncelenen modellerin kategorileri ve varyantlarının bir arada gösterildiği bu mimari, çeşitli çalışma koşulları için esnek ve optimize edilmiş çözümler sunmayı amaçlamaktadır.

**Tablo 22***Senaryolar ve Model Varyantları*

| Kategori                 | Model Türü          | Esneklik Seviyesi | Varyantlar |
|--------------------------|---------------------|-------------------|------------|
| Depolama Atama Modelleri | Kapıdan Dağıtım (K) | Dengeli (D)       | KD         |
|                          |                     | Kısmen Esnek (E1) | KE1        |
|                          |                     | Esnek (E2)        | KE2        |
|                          | Raftan Dağıtım (R)  | Dengeli (D)       | RD         |
|                          |                     | Kısmen Esnek (E1) | RE1        |
|                          |                     | Esnek (E2)        | RE2        |
| Taşıt Seçimi Modelleri   | Kapıdan Dağıtım (K) | Dengeli (D)       | KDT        |
|                          |                     | Kısmen Esnek (E1) | KE1T       |
|                          |                     | Esnek (E2)        | KE2T       |
|                          | Raftan Dağıtım (R)  | Dengeli (D)       | RDT        |
|                          |                     | Kısmen Esnek (E1) | RE1T       |
|                          |                     | Esnek (E2)        | RE2T       |

İşletmenin iç lojistik sistemine farklı düzeylerde esneklik sağlanarak toplam taşıma mesafesi ve maliyeti üzerindeki etkilerini değerlendirmek amacıyla, yerleştirme ve taşıma modelleri kullanılarak oluşturulan üç senaryo karşılaştırılarak test edilmiştir. Her bir senaryo, aynı veri yapısı ve kısıtlar altında çalıştırılmış; yalnızca raf bölmesi sayısı ve buna bağlı olarak oluşan taşıma görevleri farklılaştırılmıştır. Bu analiz, modellerin farklı fiziksel koşullarda nasıl performans gösterdiğinin ve işletmeye katkı düzeyinin ortaya konulmasını sağlamıştır.

Karşılaştırma sürecinde ilk olarak slotlama modelinin çıktısı incelenmiş, daha sonra bu lokasyonlara karşılık gelen taşıma görevleri için taşıma modelinin maliyet sonuçları değerlendirilmiştir. Analiz hem toplam taşıma mesafesi hem de toplam taşıma maliyeti esas alınarak yapılmıştır; Modelin etkisi, senaryoların birbirlerine göre sağladığı yüzdelik iyileştirmelerin hesaplanmasıyla belirlenmiştir.

Depo raf kullanım düzeyine bağlı olarak sistemin taşıma mesafesi açısından nasıl farklılık gösterdiğini görmek için KD, KE1 ve KE2 slotlama modeli senaryoları karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sürecinde, her senaryo tarafından oluşturulan raf düzeni yapısı, model uzaklığına dayalı amaç fonksiyonunun çıktısına göre değerlendirilmiştir. Bu şekilde sistemin farklı raf esnekliği seviyelerinde ürettiği sonuçlar analiz edilmiştir. Bu analizlerin temelinde, toplam taşıma mesafesinin

senaryolar arasında nasıl farklılaştığı yer almaktadır.

Senaryoların değerlendirilmesinde temel ölçüt, toplam taşıma mesafesinin senaryolar arasında ne ölçüde değiştiğidir. Ayrıca, dengeli senaryo (KD) esas alınarak, kısmen esnek (KE1) ve esnek (KE2) senaryoların sağlayabileceği mesafe iyileştirme oranları hesaplanmıştır. Bu yaklaşım sayesinde modelin fiziksel esnekliğe karşı ne derece duyarlı olduğu gözlemlenmiş ve işletmeye yönelik uygulanabilirlik potansiyeli test edilmiştir.

KDT, KE1T ve KE2T taşıt modeli senaryoları karşılaştırılarak, slotlama senaryolarına karşılık gelen yerleşim yapıları tarafından üretilen taşıma görevleri maliyet açısından analiz edilmiştir. Her senaryoda, slotlama modelinin sonuçlarına göre tanımlanan taşıma görevleri için en uygun araç tipi seçilerek toplam taşıma maliyeti buna göre minimize edilmiştir.

Senaryolar arası değerlendirmede, karşılaştırmanın temel kriteri olarak toplam taşıma maliyeti kullanılmıştır. Kısmen esnek (KE1T) ve esnek (KE2T) yapıların maliyet etkisi, bir kıstas olarak dengeli senaryo (KDT) kullanılarak analiz edilmiştir. Özellikle raf esnekliğinin artmasının taşıma mesafesi üzerindeki dolaylı etkisinin taşıma aracı seçimi yoluyla maliyete nasıl yansıdığı incelenmiştir.

Her senaryoda kullanılan araç dağılımı dikkate alınarak, farklı yapıların sadece maliyet açısından değil, aynı zamanda enerji tüketimi ve işgücü kullanımı açısından da avantajları genel düzeyde değerlendirilmiştir. Bu analizler, entegre model yapısının esnek üretim senaryoları altında maliyet ve kaynak kullanımı açısından etkinliğini ortaya koymuştur.

### **3.4. Bulgular**

#### **3.4.1. Mesafe İyileştirmeleri**

İç lojistik süreçlerinin verimliliğinin artırılmasında en belirleyici unsurlardan biri toplam taşıma mesafesinin azaltılmasıdır. Bu bağlamda geliştirilen iki aşamalı optimizasyon modeli, hammadde yerleşimi ve nakliye operasyonlarının bütünleşik bir yapıda ele alınmasıyla mesafe iyileştirmesinin sağlanmasını hedeflemektedir. Bu bölümde farklı esneklik seviyelerinde (dengeli, kısmen esnek ve esnek) oluşturulan senaryolar dahilinde raf ve dağıtım kapısı yerleştirme stratejilerinin taşıma mesafeleri üzerindeki etkisi detaylı olarak incelenmektedir. Hem kapıdan dağıtım (KD, KE1, KE2)

hem de raftan dağıtım (RD, RE1, RE2) dağıtım modellerinin karşılaştırmalı değerlendirmesi modelin fiziksel mekan kullanımı ve operasyonel anlamda yönlendirici olması sebebiyle mesafeye katkısı sayısal analiz yoluyla ortaya konmuştur.

Farklı hammaddeler farklı kapılara yönlendirme yapılmıştır. Hatta bazı kapılara yönlendirme yapılmamıştır. Tablo 23'te her bir hammaddenin varış noktası olan lokasyon kapıları ve taşınacak malzeme stoğu bilgileri bulunmaktadır.

**Tablo 23**

*Hammaddelerin Taşınacağı Lokasyon Kapıları ve Stok Miktarları*

|      | H02 | H03 | H04 | H05 | H1 | H6 | H7 | H8 | H9 | İP01 | İP02 | İP03 | İP04 | İP05 | SP01 | SP02 | SP03 | SP04 | SP05 | SP06 | SARF01 |
|------|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|
| AK1  | ✓   |     |     |     |    |    |    |    |    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        |
| AK2  | ✓   |     |     |     |    |    |    |    |    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        |
| AK3  |     | ✓   | ✓   | ✓   |    |    |    |    |    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        |
| AK4  |     | ✓   | ✓   | ✓   |    |    |    |    |    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        |
| AK5  |     |     |     | ✓   |    |    |    |    |    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        |
| MK1  |     |     |     |     | ✓  | ✓  | ✓  |    | ✓  | ✓    |      | ✓    | ✓    | ✓    | ✓    |      |      |      |      |      | ✓      |
| MK2  |     |     |     |     |    |    |    | ✓  |    |      | ✓    |      |      |      |      | ✓    | ✓    | ✓    | ✓    | ✓    |        |
| Stok | 6   | 1   | 10  | 2   | 1  | 1  | 1  | 7  | 1  | 2    | 1    | 1    | 1    | 1    | 20   | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1      |

Kapıdan Dağıtım Modelleri için yapılan analize göre Tablo 24'te görüldüğü gibi; H02 kodlu hammadde için toplam altı raf bölmesinde stok bulunmaktadır. Bütün modellerde DK1 kapısından AK1 kapısına beş raf bölmelik stok, DK2 kapısından AK2 kapısına bir raf bölmesindeki stok taşınmıştır.

H03 kodlu hammadde için toplam bir raf bölmesinde stok bulunmaktadır. KD modelinde DK3 kapısından AK4 kapısına bir raf bölmelik stok taşınmıştır. KE1 ve KE2 modellerinde başlangıç ve bitiş kapıları değişmiştir ve stok DK2 kapısından AK3 kapısına taşınmıştır.

H04 kodlu hammadde için toplam 10 raf bölmesinde stok bulunmaktadır. Bütün modellerde DK2 kapısından AK3 kapısına ve DK3 kapısından AK4 kapısına taşıma yapılmıştır. Ancak taşınan malzeme miktarı değişmiştir. KD modelinde DK2 kapısından AK3 kapısına ve DK3 kapısından AK4 kapısına yapılan her iki taşımada da beş raf bölmelik taşıma yapılmıştır. Model esnekleştiği zaman, KE1 modelinde DK2 kapısından AK3 kapısına üç raf bölmelik stok taşınırken, DK3 kapısından AK4 kapısına yedi raf bölmelik stok taşınmıştır. Benzer şekilde esnek depo slotlama modeli olan KE2

modelinde de taşıma miktarları farklılaşmıştır. DK2 kapısından AK3 kapısına dört raf bölmelik stok taşınırken, DK3 kapısından AK4 kapısına altı raf bölmelik stok taşınmıştır.

**Tablo 24**

*Model Esnekliğine Göre Kapıdan Dağıtımla Taşınan Hammadde Miktarları*

| Malzeme | KD          |               |        | KE1         |               |        | KE2         |               |        |
|---------|-------------|---------------|--------|-------------|---------------|--------|-------------|---------------|--------|
|         | Depo Kapısı | Atölye Kapısı | Miktar | Depo Kapısı | Atölye Kapısı | Miktar | Depo Kapısı | Atölye Kapısı | Miktar |
| H02     | DK1         | AK1           | 5      | DK1         | AK1           | 5      | DK1         | AK1           | 5      |
| H02     | DK2         | AK2           | 1      | DK2         | AK2           | 1      | DK2         | AK2           | 1      |
| H03     | DK3         | AK4           | 1      | DK2         | AK3           | 1      | DK2         | AK3           | 1      |
| H04     | DK2         | AK3           | 5      | DK2         | AK3           | 3      | DK2         | AK3           | 4      |
| H04     | DK3         | AK4           | 5      | DK3         | AK4           | 7      | DK3         | AK4           | 6      |
| H05     | DK3         | AK4           | 2      | DK2         | AK3           | 1      | DK3         | AK4           | 2      |
| H05     | -           | -             | -      | DK3         | AK4           | 1      | -           | -             | -      |

H05 kodlu hammadde için toplam iki raf bölmesinde stok bulunmaktadır. KD ve KE2 modellerinde DK3 kapısından AK4 kapısına iki raf bölmelik stok taşınmıştır. Ancak KE1 modelinde durum farklıdır. Burada iki raf bölmelik stoktan bir raf bölmesindeki stok DK2 kapısından AK3 kapısına gönderilirken, kalan stok DK3'ten AK4 kapısına taşınmıştır.

Yapılan analizler, kapıdan dağıtım modellerinde model esnekliğinin artmasıyla birlikte hammadde rotalamasında önemli değişimlerin yaşandığını göstermektedir. Bazı hammaddeler için güzergâhlar sabit kalırken, bazılarında ise hem çıkış hem de varış kapılarının değiştiği, stokların daha dengeli bir şekilde yeniden dağıtıldığı gözlemlenmiştir. Özellikle esnek depo slotlama modellerde, taşıma miktarlarının farklı rotalara dağıtılması, sistemin taşıma kapasitesini daha verimli kullanmasına olanak tanımaktadır. Bu, lojistik verimliliğinin artırılması açısından önemli bir başarı olarak değerlendirilebilir. Kapı düzeyinde sağlanan bu iyileştirmelerin yanı sıra, envanter yerleştirme kararlarını doğrudan dikkate alan Raftan Dağıtım Modelleri, sistemin daha mikro düzeyde nasıl optimize edildiğinin belirlenmesi açısından önemli bir karşılaştırma temeli sağlamaktadır.

Tablo 25'te Raftan Dağıtım Modelleri için raf bölmelerinden atölye kapılarına gönderilen hammaddelerin analiz sonuçları gösterilmektedir.

### *Model Esnekliğine Göre Raftan Dağıtımla Taşınan Hammadde Miktarları*

Burada da model esnekliği artıkça hammaddelerin stoklandığı raf bölmeleri değişimi gözlemlenmiştir. Buna bağlı olarak her modelde kapılara gönderilen malzemelerin başlangıç noktaları değişmiştir.

H03 kodlu hammadde için toplam bir raf bölümünde stok bulunmaktadır. Bütün modellerde AK4 kapısına taşınmıştır. RD modelinde başlangıç noktası R3-04-01 raf adresi iken, RE1 modelinde R4-08-01 raf adresi olmuştur. RE2 modelinde ise R3-03-01 raf adresinden AK4 kapısına taşıma yapılmıştır.

86

AK4 kapısına iki raf bölmelik stok taşınmıştır. R4-11-01 raf adresinden sadece RD ve RE1 modellerinde AK4 kapısına taşıma yapılmıştır, RE2 modelinde bu raf bölmesinden taşıma yapılmadığı görülmektedir.

Benzer şekilde RE1 ve RE2 modellerinde R1-03-02 raf adresinden AK3 kapısına ve R4-07-03 raf adresinden AK4 kapısına taşıma yapılırken RD modelinde bu raf adreslerinden taşıma yapılmamıştır. R1-10-01, R3-03-01 ve R4-11-02 raf bölmelerinden sadece RD modelinde taşıma yapılmıştır. R4-10-01 raf bölmesinden sadece RE1 modelinde taşıma yapılmıştır. R3-04-01 ve R4-05-02 raf bölmelerinden ise sadece RE2 modelinde taşıma yapıldığı görülmüştür.

H05 kodlu hammadde için toplam iki raf bölmesinde stok bulunmaktadır. R4-08-01 ve R4-10-01 raf bölmelerinden RD ve RE2 modellerinde taşıma yapılmıştır ancak varış noktaları RD modelinde AK5 kapısı iken, RE2 modelinde AK4 kapısına taşıma yapıldığı görülmektedir. RE1 modelinde ise R3-03-01 ile R3-04-01 raf bölmelerinden taşıma yapıldığı gözlemlenmiştir.

Raftan dağıtım modellerine ilişkin analiz sonuçları, sistemin esnekliği arttıkça stoklanan hammaddelerin raflara yerleşiminde önemli değişimler meydana geldiğini göstermektedir. H02, H03 ve H05 kodlu hammaddeler için taşıma yönleri aynı kalırken, çıkış raf bölmelerinin modeller arasında farklılık gösterdiği görülmektedir. H04 kodlu hammaddelerde hem genel kullanılan raflardan hem de sadece belirli modellere ait raflardan taşıma yapıldığı görülmektedir. Bu durum sistemin esnekliğe dayalı taşıma rotalarını daha verimli oluşturabildiğini göstermektedir. Özellikle RE1 ve RE2 modellerinde bazı raflar sadece bu senaryolarda yoğun olarak kullanılmıştır. Öte yandan RD modeline özgü raf adreslerinde gözle görülür bir fark oluşmuştur. Ayrıca H05 hammadde örneğinde olduğu gibi aynı raflardan taşınan stokların farklı modellerde farklı kapılara yönlendirilmesi, taşıma planlamasının sadece stok lokasyonuna göre değil aynı zamanda stratejik lokasyon seçimine göre de optimize edildiğini göstermektedir. Elde edilen sonuçlar, modelin esnekliğinin sadece taşıma mesafesini değil aynı zamanda depodaki kaynak kullanımını da doğrudan etkilediğini göstermektedir.

Bir Raf Bölmesinde Stoklanan Hammaddelerin Farklı Kapılardan/Raf Bölmelerinden Montaj Kapılarına Yönlendirilmesi incelenmiştir. Kapıdan Dağıtım Modelleri için yapılan analize göre H01, H06, H07, H09, İP03, İP04, İP05 ve SARF01 kodlu hammaddeler sadece MK1 kapısına taşınmıştır. İP02, SP02, SP03, SP04 ve SP05 kodlu

hammadeler sadece MK2 kapısına taşınmıştır. Buradaki farklılaşma taşıma işleminin başlangıç noktasıdır.

Tek bir raf bölümünde depolanan hammaddelerin montaj kapılarına yönlendirilmesine ilişkin analiz, taşıma stratejilerinin başlangıç noktalarına bağlı olarak nasıl değiştiğini göstermektedir. Tablo 26’da sunulan veriler, bazı hammadde tiplerinin sadece belirli montaj kapılarından yönlendirildiğini göstermektedir. H01, H06, H07, H09, İP03, İP04, İP05 ve SARF01 kodlu tüm hammaddeler sadece MK1 kapısına taşınırken, İP02, SP02, SP03, SP04 ve SP05 kodlu hammaddeler MK2 kapısına yönlendirilmektedir. Bu değişim, taşıma rotaları üzerindeki varış noktalarından ziyade, taşımanın başladığı raf bölümü veya kapıdan kaynaklanmaktadır. Bu durum, sistem esnekliği düzeyi sabit kalsa bile, operasyonel tercihlerin başlangıç noktasında önemli farklılıklara yol açabileceğini göstermektedir.

**Tablo 26**

*Model Esnekliğine Göre Tek Rafta Stoklanan Hammaddelerin Kapıdan Dağıtım Tablosu*

| Malzeme | KD          |               | KE1         |               | KE2         |               | Miktar |
|---------|-------------|---------------|-------------|---------------|-------------|---------------|--------|
|         | Depo Kapısı | Atölye Kapısı | Depo Kapısı | Atölye Kapısı | Depo Kapısı | Atölye Kapısı |        |
| H01     | DK2         | MK1           | DK2         | MK1           | DK1         | MK1           | 1      |
| H06     | DK2         | MK1           | DK2         | MK1           | DK2         | MK1           | 1      |
| H07     | DK1         | MK1           | DK1         | MK1           | DK2         | MK1           | 1      |
| H09     | DK2         | MK1           | DK2         | MK1           | DK2         | MK1           | 1      |
| İP02    | DK3         | MK2           | DK3         | MK2           | DK3         | MK2           | 1      |
| İP03    | DK2         | MK1           | DK2         | MK1           | DK2         | MK1           | 1      |
| İP04    | DK1         | MK1           | DK3         | MK1           | DK3         | MK1           | 1      |
| İP05    | DK2         | MK1           | DK2         | MK1           | DK2         | MK1           | 1      |
| SP02    | DK3         | MK2           | DK3         | MK2           | DK3         | MK2           | 1      |
| SP03    | DK3         | MK2           | DK3         | MK2           | DK3         | MK2           | 1      |
| SP04    | DK3         | MK2           | DK3         | MK2           | DK3         | MK2           | 1      |
| SP05    | DK3         | MK2           | DK3         | MK2           | DK3         | MK2           | 1      |
| SP06    | DK2         | MK2           | DK2         | MK2           | DK2         | MK2           | 1      |
| SARF01  | DK3         | MK1           | DK2         | MK1           | DK2         | MK1           | 1      |

Raftan Dağıtım modelleri (RD, RE1, RE2) için yapılan analizde Tablo 27’de gösterildiği gibi sadece bir raf bölümünde depolanan hammaddelerin modeller arasında yönlendirildiği raf bölmelerinde farklılık gösterdiği görülmüştür. Tablodaki veriler, sistemin daha esnek hale gelmesiyle birlikte aynı hammaddenin farklı senaryolarda, farklı raflardan sevk edildiğini göstermektedir.

Örneğin H01, H06, H07 ve H09 kodlu hammaddeler tüm modellerde aynı MK1 montaj kapısına yönlendirilmesine rağmen, bu taşımanın gerçekleştiği raf adresleri senaryolara göre farklılık göstermektedir. Benzer şekilde IP02, SP02, SP03, SP04 ve SP05 kodlu hammaddeler tüm modellerde MK2 kapısına yönlendirilmekte ancak çıkış raflarının farklı olduğu görülmektedir. Bu durum sistemin sadece varış noktalarında değil, esneklik düzeyine bağlı olarak taşımanın başlangıç noktası olan raf bölmesi seviyesinde de optimize edildiğini göstermektedir. Özellikle RE2 modelinde, RD ve RE1 senaryolarına göre birçok hammaddenin farklı raf bölmelerinden sevk edilmesi, bu esnekliğin taşıma mesafesi ve operasyonel denge açısından avantaj sağladığını göstermektedir. Sonuç olarak sistemin tek raf stoklu hammaddelerde bile farklı modellerde farklı raf bölmelerini tercih etmesi, depodaki kaynak kullanımının dinamik bir yapıya sahip olduğunu ve taşıma stratejilerinin sadece varış noktasına göre değil, aynı zamanda çıkış noktasına göre de değiştirilebileceğini göstermektedir.

**Tablo 27**

*Model Esnekliğine Göre Tek Rafta Stoklanan Hammaddelerin Raftan Dağıtım Tablosu*

| Malzeme | RD          |               | RE1         |               | RE1         |               | Miktar |
|---------|-------------|---------------|-------------|---------------|-------------|---------------|--------|
|         | Raf Bölmesi | Montaj Kapısı | Raf Bölmesi | Montaj Kapısı | Raf Bölmesi | Montaj Kapısı |        |
| H01     | R8-03-02    | MK1           | R8-03-02    | MK1           | R5-03-01    | MK1           | 1      |
| H06     | R8-08-01    | MK1           | R8-01-01    | MK1           | R2-05-01    | MK1           | 1      |
| H07     | R1-13-01    | MK1           | R4-11-02    | MK1           | R5-05-02    | MK1           | 1      |
| H09     | PR2-08-01   | MK1           | PR2-08-01   | MK1           | PR2-08-01   | MK1           | 1      |
| İP02    | R6-01-01    | MK2           | R6-03-02    | MK2           | R6-04-01    | MK2           | 1      |
| İP03    | R5-06-01    | MK1           | R5-05-01    | MK1           | R8-03-02    | MK1           | 1      |
| İP04    | R8-03-01    | MK1           | R8-03-01    | MK1           | R4-11-02    | MK1           | 1      |
| İP05    | R8-01-01    | MK1           | R7-09-01    | MK1           | R2-04-03    | MK1           | 1      |
| SP02    | R7-01-02    | MK2           | R6-04-01    | MK2           | R6-11-01    | MK2           | 1      |
| SP03    | R7-01-01    | MK2           | R6-10-01    | MK2           | R6-01-01    | MK2           | 1      |
| SP04    | R6-12-01    | MK2           | R7-01-01    | MK2           | R6-03-02    | MK2           | 1      |
| SP05    | PR1-01-02   | MK2           | PR1-05-01   | MK2           | PR1-04-02   | MK2           | 1      |
| SP06    | PR1-01-01   | MK2           | PR1-01-02   | MK2           | PR1-05-01   | MK2           | 1      |
| SARF01  | R1-14-02    | MK1           | R8-09-01    | MK1           | R8-08-02    | MK1           | 1      |

Birden fazla raf bölmesinde stoklanan hammaddelerin farklı kapılardan/raf bölmelerinden montaj kapılarına yönlendirilmesi incelenmiştir. Tablo 18’de birden fazla raf bölmesinde stoklanan hammaddelerin taşındığı lokasyon kapılarının bilgileri bulunmaktadır. Kapıdan Dağıtım Modelleri için yapılan analize göre, H8 kodlu hammaddenin yedi raf bölmelik stoğu bulunmaktadır. Bu stok sadece MK2 kapısına taşınmıştır. Depo kapısından yapılan taşıma işlemlerinde KD, KE1 ve KE2 modellerinin

hepsinde tüm stok DK3 kapısından MK2 kapısına taşınmıştır. İP02 kodlu hammaddenin iki raf bölmelik stoğu vardır. KD ve KE2 modellerinde tüm stok DK1 kapısından MK1 kapısına taşıma yapılırken, KE1 modelinde DK2 kapısından bir raf bölmelik stok, DK3 kapısından ise kalan stok taşınmıştır. SP01 kodlu hammaddenin 20 raf bölmelik stoğu vardır. KD ve KE2 modellerinde DK1 kapısından 10 raf bölmelik stok, DK2 kapısından yedi raf bölmelik stok ve DK3 kapısından da üç raf bölmelik stok MK1 kapısına taşıma yapılırken KE1 modelinde taşıma yapılan miktarların değiştiği gözlemlenmiştir.

Birden fazla raf bölmesinde depolanan hammaddeler üzerinde yapılan analizler, taşıma operasyonlarında model bazlı rotalamada farklılıkların sadece rota açısından değil, aynı zamanda miktar ve dağılım açısından da ortaya çıktığını göstermektedir. Tablo 28’de görüldüğü gibi yedi raf bölmesinde bulunan H08 kodlu hammadde stoğu tüm modellerde sadece MK2 kapısına taşınmış, KD, KE1 ve KE2 senaryolarının tümünde taşıma işlemi DK3 kapısından gerçekleştirilmiştir. Ancak KE1 modeli özellikle İP02 kodlu hammadde açısından diğerlerinden farklılaşmakta olup stok iki farklı çıkış kapısına bölünerek taşınmıştır.

**Tablo 28**

*Model Esnekliğine Göre Birden Fazla Rafta stoklanan Hammaddelerin Kapıdan Dağıtım Tablosu*

| Malzeme | Depo Kapısı | Montaj Kapısı | KD     |             | KE1           |        | KE2         |               | Miktar |
|---------|-------------|---------------|--------|-------------|---------------|--------|-------------|---------------|--------|
|         |             |               | Miktar | Depo Kapısı | Montaj Kapısı | Miktar | Depo Kapısı | Montaj Kapısı |        |
| H08     | DK3         | MK2           | 7      | DK3         | MK2           | 7      | DK3         | MK2           | 7      |
| İP01    | DK1         | MK1           | 2      | DK2         | MK1           | 1      | DK1         | MK1           | 2      |
| SP01    | DK1         | MK1           | 10     | DK3         | MK1           | 1      | DK1         | MK1           | 6      |
| SP01    | DK2         | MK1           | 7      | DK1         | MK1           | 10     | DK2         | MK1           | 10     |
| SP01    | DK3         | MK1           | 3      | DK2         | MK1           | 7      | DK3         | MK1           | 4      |
| SP01    | -           | -             | -      | DK3         | MK1           | 3      | -           | -             | -      |

Benzer şekilde, SP01 kodlu hammadde rafındaki 20 bölmedeki stok her üç modelde de aynı montaj kapısına yönlendirilmesine rağmen, özellikle KE1 senaryosunda taşıma hacimlerinin çıkış kapısına bağlı olarak değiştiği görülmektedir. Bu farklılıklar, sistemin taşıma rotalarını sadece varış noktasına göre değil, aynı zamanda başlangıç noktaları ve miktar dağılımlarına göre de daha esnek bir şekilde optimize ettiğini göstermektedir.

Raftan Dağıtım Modelleri için yapılan analiz sonuçları Tablo 29’da görüldüğü gibi RD, RE1 ve RE2 modellerinde, hammaddelerin bulunduğu raf bölmelerinin farklılaştığını göstermektedir. H8 kodlu hammaddenin yedi raf bölmelik stoğu, İP02 kodlu

hammadenin iki raf bölmelik stoğu ve SP01 kodlu hammadenin 20 raf bölmelik stoğu vardır. Bu stoklar sadece MK2 kapısına taşınmıştır. Raf bölmelerinden yapılan taşımalarda her modelde farklılaşma görülmüştür.

**Tablo 29**

*Model Esnekliğine Göre Birden Fazla Rafta stoklanan Hammaddelerin Raftan Dağıtım Tablosu*

| Malzeme | RD          |               | RE1         |               | RE2         |               | Miktar |
|---------|-------------|---------------|-------------|---------------|-------------|---------------|--------|
|         | Raf Bölmesi | Montaj Kapısı | Raf Bölmesi | Montaj Kapısı | Raf Bölmesi | Montaj Kapısı |        |
| H08     | R6-03-01    | MK2           | R6-01-01    | MK2           | R6-03-01    | MK2           | 1      |
| H08     | R6-03-02    | MK2           | R6-03-01    | MK2           | R6-09-01    | MK2           | 1      |
| H08     | R6-04-01    | MK2           | R6-09-01    | MK2           | R6-09-03    | MK2           | 1      |
| H08     | R6-09-01    | MK2           | R6-09-03    | MK2           | R6-10-01    | MK2           | 1      |
| H08     | R6-10-01    | MK2           | R6-11-01    | MK2           | R6-12-01    | MK2           | 1      |
| H08     | R6-11-01    | MK2           | R6-12-01    | MK2           | R7-04-01    | MK2           | 1      |
| H08     | R7-01-03    | MK2           | R7-01-02    | MK2           | R7-05-01    | MK2           | 1      |
| İP01    | R1-14-01    | MK1           | R7-01-03    | MK1           | R7-08-02    | MK1           | 1      |
| İP01    | R8-08-02    | MK1           | R7-04-01    | MK1           | R8-01-01    | MK1           | 1      |
| SP01    | R1-13-02    | MK1           | R1-10-01    | MK1           | R1-10-01    | MK1           | 1      |
| SP01    | R3-12-01    | MK1           | R1-13-01    | MK1           | R1-13-01    | MK1           | 1      |
| SP01    | R4-12-01    | MK1           | R1-13-02    | MK1           | R1-13-02    | MK1           | 1      |
| SP01    | R5-05-01    | MK1           | R1-14-01    | MK1           | R1-14-01    | MK1           | 1      |
| SP01    | R5-05-02    | MK1           | R1-14-02    | MK1           | R1-14-02    | MK1           | 1      |
| SP01    | R7-04-01    | MK1           | R2-05-01    | MK1           | R2-06-02    | MK1           | 1      |
| SP01    | R7-05-01    | MK1           | R3-12-01    | MK1           | R3-12-01    | MK1           | 1      |
| SP01    | R7-08-01    | MK1           | R4-12-01    | MK1           | R4-11-01    | MK1           | 1      |
| SP01    | R7-08-02    | MK1           | R5-05-02    | MK1           | R4-12-01    | MK1           | 1      |
| SP01    | R7-09-01    | MK1           | R5-06-01    | MK1           | R4-13-03    | MK1           | 1      |
| SP01    | R7-09-02    | MK1           | R7-05-01    | MK1           | R5-02-03    | MK1           | 1      |
| SP01    | R8-02-01    | MK1           | R7-08-01    | MK1           | R5-05-01    | MK1           | 1      |
| SP01    | R8-09-01    | MK1           | R7-08-02    | MK1           | R5-06-01    | MK1           | 1      |
| SP01    | R9-01-01    | MK1           | R7-09-02    | MK1           | R7-08-01    | MK1           | 1      |
| SP01    | R9-02-01    | MK1           | R8-02-01    | MK1           | R7-09-01    | MK1           | 1      |
| SP01    | R9-06-01    | MK1           | R8-08-01    | MK1           | R7-09-02    | MK1           | 1      |
| SP01    | R9-06-02    | MK1           | R8-08-02    | MK1           | R8-02-01    | MK1           | 1      |
| SP01    | R9-06-03    | MK1           | R9-04-03    | MK1           | R8-03-01    | MK1           | 1      |
| SP01    | R9-08-01    | MK1           | R9-08-01    | MK1           | R8-08-01    | MK1           | 1      |
| SP01    | R9-08-02    | MK1           | R9-08-02    | MK1           | R8-09-01    | MK1           | 1      |

Raftan dağıtım modelleri için yapılan analize göre, RD, RE1 ve RE2 senaryolarında hammadde taşımacılığı için kullanılan raf bölmeleri değişkenlik göstermektedir. Tablo 24’te sunulan verilere göre, H08 kodlu hammadenin her üç modelde de 7 ayrı raf

bölmesinde depolandığı ve sadece MK2 montaj kapısına yönlendirildiği görülmektedir. Ancak taşımanın gerçekleştirildiği raf bölmelerinin adresleri farklı modellerde farklılık göstermektedir. Benzer şekilde İP02 kodlu hammaddelere ait iki raf bölümündeki stok da sadece MK1 kapısına taşınmıştı. Ancak RE1 ve RE2 modellerinde sevkiyatların yapıldığı raf adresleri RD modelinden farklıdır. Yirmi raf bölümünde stoklanan SP01 kodlu hammadde için de benzer bir durum gözlemlenmektedir: tüm modellerde taşıma MK1 kapısına yapılmasına rağmen, kullanılan raf bölmeleri farklı senaryolarda farklılık göstermektedir. Bu farklılıklar sistemin sadece taşıma hedeflerini değil, aynı zamanda modelin esnekliğine göre başlangıç noktalarını da optimize ettiğini göstermektedir; ve depo içi taşıma rotalarının raf bölmeleri düzeyinde yeniden yapılandırılabileceği göstermektedir.

Atölye ve montaj kapılarının kapasitesine üzerinde yapılan analizde, taşımanın kapılar arasında nasıl dağıldığı ve bu dağılımın farklı modeller arasındaki değişimi incelenmiştir. Sistemin toplam taşıma kapasitesi 79 raf bölmelik olup, bunun 62 raf bölümü kadarı kullanılmaktadır. Bu kapasite kullanımının tüm modellerde (KD, KE1, KE2) aynı kaldığı görülmüştür. Bu durum sistem esnekliğindeki artışa rağmen genel dağıtım yapısında bir değişiklik olmadığını göstermektedir.

Ancak model bazlı analizler, farklı senaryolarda aynı hammaddenin hangi kapıdan hangi atölyeye gönderildiği açısından önemli farklılıklar göstermektedir. Tablo 30'da görüldüğü gibi H02 kodlu hammadde tüm modellerde aynı dağıtım yapısıyla gönderilmekte, DK1 kapısından AK1 kapısına beş raf bölmelik stok, DK2 kapısından AK2 kapısına bir raf bölmelik stok gönderimi yapısı korunmaktadır. Bu durum sistemin esneklikten bağımsız olarak bazı sabit rotaları desteklediğini göstermektedir.

Öte yandan H04 kodlu hammaddelerde dağılımdaki değişim dikkat çekmektedir. DK2 kapısından AK3 ve DK3 kapısından AK4 yönünde beş raf bölmelik taşıma yapılırken; KE1 modelinde bu dağılım 3-7, KE2 modelinde ise 4-6 olarak yeniden yapılandırılmıştır. H05 kodlu hammaddeler için de benzer bir durum söz konusudur ve KE1 modelinde taşıma iki farklı kapı arasında dağıtılmıştır; Taşıma yükünün dengeli dağılımına yönelik esneklik stratejisini göstermektedir.

Model esnekliği arttıkça, toplam taşıma kapasitesi değişmese de, kapı bazında taşıma miktarları ve yük dağıtım stratejileri önemli ölçüde değişmektedir. Bu durum, esnek sistemlerin taşıma yoğunluğunu sadece rotalar arasında değil aynı zamanda kapı

kapasiteleri arasında da dengeli bir şekilde dağıtma potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir.

**Tablo 30**

*Model Esnekliğine Göre Kapıdan Dağıtımla Taşınan Hammadde Tipleri*

| Depo Kapısı | KD      |               |        | KE1     |               |        | KE2     |               |        |
|-------------|---------|---------------|--------|---------|---------------|--------|---------|---------------|--------|
|             | Malzeme | Atölye Kapısı | Miktar | Malzeme | Atölye Kapısı | Miktar | Malzeme | Atölye Kapısı | Miktar |
| DK1         | H02     | AK1           | 5      | H02     | AK1           | 5      | H02     | AK1           | 5      |
| DK2         | H02     | AK2           | 1      | H02     | AK2           | 1      | H02     | AK2           | 1      |
| DK2         | H04     | AK3           | 5      | H03     | AK3           | 1      | H03     | AK3           | 1      |
| DK2         | -       | -             | -      | H04     | AK3           | 3      | H04     | AK3           | 4      |
| DK2         | -       | -             | -      | H05     | AK3           | 1      | -       | -             | -      |
| DK3         | H03     | AK4           | 1      | H04     | AK4           | 7      | H04     | AK4           | 6      |
| DK3         | H04     | AK4           | 5      | H05     | AK4           | 1      | H05     | AK4           | 2      |
| DK3         | H05     | AK4           | 2      | -       | -             | -      | -       | -             | -      |

Raftan Dağıtım Modellerine (RD, RE1, RE2) ilişkin yapılan analiz Tablo 31’de gösterildiği gibi, hammadde bazında taşıma işlemlerinin hem başlangıç noktası olan raf adreslerinde hem de varış kapısı yönlendirmelerinde önemli ölçüde farklılık gösterdiğini ortaya koymaktadır. Her üç modelde de H02, H03, H04 ve H05 kodlu hammaddeler benzer montaj kapılarına taşınsa da taşımanın gerçekleştirildiği raf bölmeleri modele göre değişmektedir.

H02 kodlu hammadde RD, RE1 ve RE2 modellerindeki aynı adresli dört raf bölümünde AK1 kapısına yönlendirme yapılmıştır. Bununla birlikte R1-01-02 raf bölümündeki stok RE1 ve RE2 modellerinde AK2 kapısına yönlendirilirken, RD modelinde başlangıç noktası R1-03-01 raf bölümü olmuştur. Bu durum, sistemin esneklik düzeyinin artmasıyla birlikte başlangıç noktalarının yeniden yapılandırabildiğini göstermektedir.

Örneğin H03 ve H04 kodlu hammaddelerin raf bölmeleri arasında da önemli değişiklikler bulunmaktadır. RE2 modeli, RE1 ve RD modellerine göre daha geniş bir raf yelpazesi kullanmakta ve stoğu farklı raf bölmelerinden yönlendirmektedir. Bu farklılaşma, sistemin depo içerisinde nakliye ve dağıtım rotalarını optimize edecek esneklik kazanmasıyla alternatif rotaları etkin bir şekilde kullandığını göstermektedir.

Ayrıca H05 kodlu hammaddelerin taşıma rotalarında da önemli farklılıklar gözlemlenmektedir. Özellikle RE2 modelinde kullanılan raf adresleri RD ve RE1 modellerinden farklıdır. Bu durum sistemin depo içindeki kaynakları daha eşit dağıttığını ve taşıma yoğunluğunu çeşitlendirdiğini göstermektedir.

**Tablo 31***Model Esnekliğine Göre Raftan Dağıtımla Taşınan Hammadde Tipleri*

| Raf Bölmesi | RD      |               | RE1     |               | RE2     |               |
|-------------|---------|---------------|---------|---------------|---------|---------------|
|             | Malzeme | Atölye Kapısı | Malzeme | Atölye Kapısı | Malzeme | Atölye Kapısı |
| R1-01-02    | -       | -             | H02     | AK2           | H02     | AK2           |
| R1-03-01    | H02     | AK2           | H04     | AK3           | H04     | AK3           |
| R1-03-02    | H04     | AK3           | H04     | AK3           | H04     | AK3           |
| R1-09-01    | H04     | AK3           | H04     | AK3           | H04     | AK3           |
| R1-10-01    | H04     | AK3           | -       | -             | -       | -             |
| R2-01-01    | H02     | AK1           | H02     | AK1           | H02     | AK1           |
| R2-01-02    | H02     | AK1           | H02     | AK1           | H02     | AK1           |
| R2-02-01    | H02     | AK1           | H02     | AK1           | H02     | AK1           |
| R2-02-02    | H02     | AK1           | H02     | AK1           | H02     | AK1           |
| R2-03-01    | H02     | AK1           | H02     | AK1           | H02     | AK1           |
| R3-01-01    | H04     | AK3           | H04     | AK3           | H04     | AK3           |
| R3-02-01    | H04     | AK3           | H04     | AK3           | H04     | AK3           |
| R3-03-01    | H04     | AK4           | H05     | AK4           | H03     | AK4           |
| R3-04-01    | H03     | AK4           | H05     | AK4           | H04     | AK4           |
| R3-08-01    | H04     | AK4           | H04     | AK4           | H04     | AK4           |
| R4-05-02    | -       | -             | -       | -             | H04     | AK4           |
| R4-07-03    | -       | -             | H04     | AK4           | H04     | AK4           |
| R4-08-01    | H05     | AK4           | H03     | AK4           | H05     | AK4           |
| R4-10-02    | H04     | AK4           | H04     | AK4           | H04     | AK4           |
| R4-10-01    | H05     | AK4           | H04     | AK4           | H05     | AK4           |
| R4-11-01    | H04     | AK4           | H04     | AK4           | -       | -             |
| R4-11-02    | H04     | AK4           | -       | -             | -       | -             |

Analiz sonuçları genel olarak, Raf-Kapı modellerinde sistemin esnekliğinin sadece raf bölmesi düzeyinde değil, aynı zamanda hedef kapı düzeyinde de taşıma rotalarını yeniden tanımladığını göstermektedir. Bu yaklaşım, taşıma maliyetlerini azaltmak, kapı yoğunluğunu dengelemek ve envanter erişimini optimize etmek için depo kaynaklarının daha stratejik kullanılmasına olanak tanımaktadır.

Tablo 32'de altı farklı depolama dağıtım modeli seçeneğinin toplam taşıma mesafesi açısından karşılaştırmalı analizi sunulmaktadır. Modeller, iki ana dağıtım stratejisi olan kapıdan dağıtım ve raftan dağıtım kapsamında Dengeli (D), Kısmen Esnek (E1) ve Esnek (E2) üç farklı esneklik düzeyine göre yapılandırılmıştır. Sonuçlar, model esnekliğinin taşıma mesafesi açısından önemli bir faktör olduğunu göstermektedir. Kapıdan dağıtım modellerinde esneklik düzeyinin artmasıyla birlikte toplam mesafede azalma gözlenmiştir. Bu durum KD modelinde 7.566 metreden KE2 modelinde 7434 metreye düşüş ile kendini göstermiştir. Raftan dağıtım modelleri için de benzer bir

eğilim söz konusudur. RD modelinde 7.833 metre olan toplam taşıma mesafesi, RE2 modelinde 7.101 metreye inmiştir.

**Tablo 32**

*Depo Slotlama Modeli Varyantlarının Esneklik Seviyelerine Göre Toplam Taşıma Mesafeleri*

| Kategori                 | Model Türü          | Esneklik Seviyesi | Varyantlar | Toplam Mesafe (mt) |
|--------------------------|---------------------|-------------------|------------|--------------------|
| Depolama Atama Modelleri | Kapıdan Dağıtım (K) | Dengeli (D)       | KD         | 7.566              |
|                          |                     | Kısmen Esnek (E1) | KE1        | 7.490              |
|                          |                     | Esnek (E2)        | KE2        | 7.434              |
|                          | Raftan Dağıtım (R)  | Dengeli (D)       | RD         | 7.833              |
|                          |                     | Kısmen Esnek (E1) | RE1        | 7.315              |
|                          |                     | Esnek (E2)        | RE2        | 7.101              |

Bu sonuçlar, sistemin esnek karar alma yapılarına sahip olması durumunda, depo içi taşıma operasyonlarının daha kısa mesafelerde gerçekleştirilebileceğini ve dolayısıyla operasyonel verimliliğin artabileceğini göstermektedir. Modellemeye yönelik esnek bir yaklaşım, yalnızca maliyetleri değil aynı zamanda fiziksel kaynakların kullanımını da optimize etmeye yardımcı olmaktadır.

#### 3.4.2. Taşıma Maliyeti İyileştirmeleri

Taşıt modelleri için yapılan analiz, taşıma modellerinin sadece rota ve envanter yerleşimi açısından değil, aynı zamanda araç seçimi açısından da farklılık gösterdiğini ortaya koymaktadır. Özellikle esnekliğin artırıldığı modellerde aynı raf bölmelerinden taşıma için farklı araçların (forklift, transpalet, malzeme taşıma arabası) kullanıldığına dikkat çekmektedir. Bu durum, her modelin ulaşım stratejisini yalnızca mesafe ve kapı sayısı açısından değil, kullanılan araçların kapasite, maliyet ve erişilebilirlik avantajlarını da dikkate alarak yeniden yapılandırıldığını göstermektedir. Örneğin, RD modelinde rafların belirli bölmeleri sadece transpalet ile taşınırken, RE1 modelinde aynı bölmeler forklift ile RE2 modelinde ise malzeme taşıma arabası ile taşınabilmektedir. Ayrıca bazı modellerde sadece bir tip araç kullanımı uygun iken, bazı modellerde ise tüm tip araçlar aktif olarak kullanılmaktadır. Bu farklılık, modelin esnekliğinin depo içi rotada taşıma yöntemini doğrudan etkileyen bir parametre olduğunu göstermektedir.

Her bir modelde kullanılan taşıma araçları değişmektedir. Bazı modellerde yalnızca forklift kullanılırken, diğerlerinde transpalet ya da malzeme taşıma arabası tercih

edilmiştir. Örneğin, KDT modelinde yalnızca Forklift ile taşıma yapılırken, RE1T modelinde hem Forklift hem Transpalet kullanımı dikkat çekmektedir. Model bazlı bu farklılaşma, depo içi operasyonların araç çeşitliliği ve kullanım stratejisi açısından önemli bir esneklik kazandığını göstermektedir. Ayrıca, bazı modellerde aynı raf bölmesi farklı taşıma aracıyla eşleştirildiği için, toplam taşıma süresi, maliyeti ve operasyonel akışın da model esnekliğiyle birlikte değiştiği söylenebilir.

R8-01-01 raf bölmesi, analiz edilen taşıma modellerinde taşıma işleminin hem gerçekleştiği hem de gerçekleşmediği bir adres olarak dikkat çekmektedir. Ek 4'teki tabloda da gösterildiği gibi, bu raf bölmesindeki hammadde için KDT, KE1T, RDT, RE1T ve RE2T modellerinde taşıma yapılmıştır. KDT, KE1T, RDT, RE1T modellerinde forklift ile taşıma yapılmıştır. RE1T modelinde transpalet ile RE2T modelinde ise malzeme taşıma arabası kullanılmıştır. Gözlemlenen bu durum, model seçimine bağlı olarak aynı lokasyondan farklı taşıma araçları ile işlem yapılabilmesini ve operasyonel stratejinin tamamen modele göre şekillendiğini ortaya koymaktadır. Buna ek olarak depo içi taşıma süreçlerinde model esnekliği arttıkça araç seçiminin de daha optimize ve duruma özel hale geldiğini açıkça göstermektedir.

R3-12-01 nolu raf bölmesi de tüm modellerde taşıma yapılan adreslerden biridir ve özellikle taşıma aracı seçimi açısından dikkat çekici farklar barındırmaktadır. KE1T, KE2T, RE1T ve RE2T modelinde taşıma yalnızca forklift ile yapılmışken, KDT modelinde sadece transpalet tercih edilmiştir. RDT modelinde ise yalnızca malzeme taşıma arabası tercih edilmiştir.

Bu durum, taşıma modeli değiştikçe aynı raf bölmesi içerisinde bile taşıma tercihlerinin kökten değişebileceğini göstermektedir. Özellikle R3-12-01 gibi tüm modellerde kullanılan adreslerde, modelin esnekliği sadece araç çeşitliliğini değil, aynı zamanda araçların kullanımına yönelik stratejik yaklaşımı da belirlemektedir. KE1T, KE2T, RE1T ve RE2T modellerinde forkliftin normal taşıma aracı olarak kullanılması, bu modellerde hız ve kaldırma kapasitesinin ön planda tutulduğunu göstermektedir. Öte yandan KDT modelinde transpalet tercihi daha dar alanlara veya düşük maliyetli bir operasyona işaret edebilirken, RDT modelinde sadece malzeme taşıma arabasının seçilmiş olması bu senaryoda ulaşılabilirliğin ve manevra kabiliyetinin daha önemli olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak araç seçimi sadece lojistik altyapısına göre değil, aynı zamanda model optimizasyonunun genel mantığına göre de şekilleniyor.

Diğer taraftan bazı raf bölmelerinden yapılan taşımalarda ise bütün modeller kullanılmamıştır. R6-09-03 raf bölmesi KE1T, RE1T ve RE2T taşıma modellerinde taşıma aracı forklift iken, RE2T taşıma modelinde malzeme taşıma arabası kullanılmıştır. Bu raf bölmesinden KDT ve RDT modellerinde taşıma yapılmadığı için taşıma aracı da kullanılmamıştır. Bu durum, taşımanın sadece fiziksel lokasyona bağlı olarak değil, aynı zamanda modelin esnekliğine ve optimizasyon kısıtlarına bağlı olarak da değişebileceğini göstermektedir. R6-09-03 raf bölmesinden KDT ve RDT modellerinde taşıma yapılmaması, bu raf bölmesinin kullanımının sistem tarafından tercih edilmediğini veya bazı senaryolarda operasyonel olarak hariç tutulduğunu göstermektedir. Taşımacılığın gerçekleştirildiği modeller arasında araç tercihindeki farklılıklar dikkat çekicidir. KE1T ve RE1T modellerinde forklift tercih edilirken, RE2T modelinde aynı lokasyon için malzeme taşıma arabasının kullanılması, esneklik seviyesi arttıkça sistemin alternatif araçları değerlendirme yeteneğinin arttığını göstermektedir. Bu bulgu, model tabanlı karar süreçlerinin taşıma/taşımacılık yapmama ikiliğinin ötesine geçtiğini ve taşımanın nasıl, neyle ve ne ölçüde gerçekleştirileceğine ilişkin daha karmaşık optimizasyon davranışı sergilediğini göstermektedir.

**Tablo 33**

*Taşıt Seçimi Modellerine Göre Taşıt Tipi Kapasite Dağılımı Tablosu*

|                 | <b>F</b> | <b>T</b> | <b>MTA</b> |
|-----------------|----------|----------|------------|
| <b>KAPASİTE</b> | 50       | 10       | 10         |
| <b>KDT</b>      | 46       | 8        | 8          |
| <b>KE1T</b>     | 46       | 8        | 8          |
| <b>KE2T</b>     | 46       | 8        | 8          |
| <b>RDT</b>      | 46       | 9        | 7          |
| <b>RE1T</b>     | 46       | 8        | 8          |
| <b>RE2T</b>     | 46       | 8        | 8          |

Taşıma maliyeti analizi yapılarak Tablo 33'te gösterildiği gibi, farklı modellerin araçlarının yük taşıma kapasitelerini nasıl kullandıklarını değerlendirilmiştir. Sistemde tanımlanan toplam taşıma kapasitesi 70 birim olup, bu taşıma kapasitesinin 50 birimi forklift, 10 birimi transpalet ve 10 birimi malzeme taşıma arabası olarak tanımlanmıştır. Tablo 33 incelendiğinde forklift kullanımının tüm modellerde 46 birimde sabit kaldığı görülmektedir. Sadece RDT modelinde transpalet ve malzeme taşıma arabası kullanımı açısından anlamlı bir fark görülmektedir. Bu modelde transpalet kullanımı 9 birime çıkarken, malzeme taşıma arabası kullanımı 7 birim olarak gözlemlenmiştir. Diğer

KDT, KE1T, KE2T, RE1T, RE2T modellerinde transpalet ve malzeme taşıma arabası kullanımı sekizer birim olarak sabit kalmıştır. Bu durum kapasite kullanım oranlarında genel bir değişime yol açmasa da, araç tahsisinde model bazlı tercihlere göre operasyonel esnekliğin uygulandığını göstermektedir. Özellikle RDT modelinde gözlenen araç tercihlerindeki değişim, araç kullanım stratejisinin yanı sıra ulaşım rotalarının da modelin esnekliğine bağlı olarak optimize edilebileceğini göstermektedir.

Tablo 34’te R6-09-01 raf bölümü incelendiğinde bütün modellerde bu bölmeden taşıma yapıldığı görülmüştür. KDT modelinde taşınan H01 kodlu hammaddenin taşıt tipi kısıtına göre transpalet veya malzeme taşıma arabası seçeneklerinden malzeme taşıma arabasının tercih edildiği görülmektedir. Diğer modellere yapılan taşıma işlemi forklift ile gerçekleştirilmiştir. Bir diğer raf bölümü olan R1-13-02 incelendiğinde, KDT modelinde taşınan İP04 hammaddesinin taşıt tipi kısıtına göre forklift veya transpalet olarak seçilebilmekte olup, modelde transpalet kullanımı tercih edildiği tespit edilmiştir. Benzer şekilde RDT modelinde taşıt tipi transpalet veya malzeme taşıma arabası olarak seçilebilmektedir; ancak malzeme taşıma arabası seçilmiştir. KE1T ile KE2T taşıma modellerinde bu raf bölümünden taşıma yapılmamıştır.

**Tablo 34**

*Taşıt Seçimi Modellerindeki Raf Bölmelerine Göre Taşıt Tiplerinin Kullanımı Tablosu*

| Raf Adresi | Model Adı | F | T | MTA | Taşıt Tipi |
|------------|-----------|---|---|-----|------------|
| R6-09-01   | KDT       |   |   | ✓   | T/MTA      |
|            | KE1T      |   |   | ✓   | MTA        |
|            | KE2T      | ✓ |   |     | F          |
|            | RDT       | ✓ |   |     | F          |
|            | RE1T      | ✓ |   |     | F          |
|            | RE2T      | ✓ |   |     | F          |
| R1-13-02   | KDT       |   | ✓ |     | F/T        |
|            | RDT       |   |   | ✓   | T/MTA      |
|            | RE1T      | ✓ |   |     | F          |
|            | RE2T      | ✓ |   |     | F          |

Taşıt tipi seçiminde gözlenen farklılıklar sadece sistem tercihlerinden değil, aynı zamanda hammaddeye özgü taşıma kısıtlarından da kaynaklanmaktadır. Bazı hammaddeler sadece forkliftle taşınabilir olarak tanımlanırken, bazıları forklift veya transpalet ile taşınabilme esnekliğine sahiptir. Bu, sistem tarafından tanımlanan alternatif araç seçeneklerini kullanmak için daha esnek depo slotlama modeller kullanılmasına olanak tanırken, daha kısıtlı modeller araç seçimini belirli bir araçla kısıtlamaktadır. Aynı hammaddenin farklı modellerde farklı taşıma araçlarıyla

gönderilmesi, operasyonel karar yollarının model esnekliği düzeyine bağlı olarak çeşitlendiğini göstermektedir. Dolayısıyla modelin esnekliği arttıkça hem taşıma rotaları farklılaşmakta, hem de araç kullanımında alternatif yaratma olanakları artmaktadır; Bu sayede sistem hem kaynak kullanımı hem de maliyet optimizasyonu açısından daha esnek çözümler sunabilmektedir.

Farklı model varyantları arasında taşıma maliyetlerinin sayısal düzeyde nasıl farklılaştığını analiz edilmiştir. Her ne kadar her model aynı toplam kapasite ile çalışsa da; Taşımanın yapıldığı raf bölmeleri, tercih edilen taşıma araçlarının tipleri ve taşıma yönleri farklılık göstermektedir. Bu yapısal farklılıklar, genel taşıma maliyetlerine doğrudan etki etmektedir. Bazı modellerin belirli araçları kullanma eğiliminde olması veya daha kısa veya uzun rotaları tercih etmesi, enerji ve işçilik maliyetlerinde mikro düzeyde farklılıklara yol açmıştır.

Bu çalışmada kullanılan optimizasyon modeli, ulaştırma operasyonlarıyla ilişkili toplam maliyetleri en aza indirecek şekilde yapılandırılmıştır. Model çıktısı yalnızca toplam ulaşım maliyetlerini vermekte olup, enerji, işçilik veya diğer maliyet alt kalemleri ayrı ayrı hesaplanmamıştır. Bu nedenle analizde yalnızca toplam maliyet değerleri esas alınmıştır; alt bileşenlere bir ayrıştırma yapılmamıştır.. Bu yaklaşım, veri yapısının imkânları dahilinde tutarlı ve şeffaf bir değerlendirme sağlamayı amaçlamaktadır.

Taşıt seçimi modellerinde kullanılan toplam taşıma mesafesi değerleri, her bir varyanta karşılık gelen depo slotlama modelinin çıktısından alınmıştır. Böylece, depo yerleşim kararlarının optimizasyon aşamasında, taşıma maliyetlerini etkileyen mesafe değişkeni sabitlenmiş ve araç tipi, taşıma yönü gibi karar değişkenlerinin etkileri izole edilerek analiz edilmiştir.

Tablo 35'te görüldüğü üzere, Kapıdan Dağıtım kategorisinde KDT modeli, depo slotlama sürecinde optimize edilen KD modeline göre 7566 metrelik bir taşıma mesafesi ile değerlendirilmiştir. Benzer şekilde, KE1T ve KE2T modelleri sırasıyla depo hedef model varyantları KE1 ve KE2'nin çıkış mesafesinden oluşturulmuştur. Raf Dağıtım kategorisinde RDT, RE1T ve RE2T modelleri sırasıyla RD, RE1 ve RE2 modellerine karşılık gelecek şekilde yapılandırılmıştır. Bu eşleştirme, analiz sürecinde tutarlılığı sağlamış ve taşıma kararlarının belirli bir depo düzeni üzerindeki etkilerinin daha doğru değerlendirilmesini sağlamıştır.

**Tablo 35***Depo Slotlama Modeli Varyantları Arasındaki İlişki ve Mesafe Bilgileri*

| Model Türü          | Esneklik Seviyesi | Depolama Slotlama Modeli Varyantları | Toplam Mesafe (mt) | Taşıt Seçimi Modeli Varyantları |
|---------------------|-------------------|--------------------------------------|--------------------|---------------------------------|
| Kapıdan Dağıtım (K) | Dengeli (D)       | KD                                   | 7.566              | KDT                             |
|                     | Kısmen Esnek (E1) | KE1                                  | 7.490              | KE1T                            |
|                     | Esnek (E2)        | KE2                                  | 7.434              | KE2T                            |
| Raftan Dağıtım (R)  | Dengeli (D)       | RD                                   | 7.833              | RDT                             |
|                     | Kısmen Esnek (E1) | RE1                                  | 7.315              | RE1T                            |
|                     | Esnek (E2)        | RE2                                  | 7.101              | RE2T                            |

Taşıt seçimi modellerine ilişkin altı farklı model varyantı arasındaki farklılıklar Tablo 36’da sunulan karşılaştırmalı analizde ayrıntılı olarak gösterilmektedir. Toplam taşıma mesafesi ve toplam maliyet değerleri açısından karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Sonuçlar sistemin sadece taşıma mesafesi açısından değil aynı zamanda maliyet açısından da optimize edilebileceğini göstermektedir. Esneklik düzeyi arttıkça bazı modellerde genel ulaşım maliyetlerinin azaldığı gözlemlenmiştir. Bu durum operasyonel tercihlerin ekonomik etkilerinin sistemin bütününe yansıdığını göstermektedir.

**Tablo 36***Taşıt Seçimi Modeli Varyantlarının Esneklik Seviyelerine Göre Toplam Taşıma Mesafeleri*

| Kategori               | Model Türü          | Esneklik Seviyesi | Varyantlar | Toplam Mesafe (mt) | Toplam Maliyet |
|------------------------|---------------------|-------------------|------------|--------------------|----------------|
| Taşıt Seçimi Modelleri | Kapıdan Dağıtım (K) | Dengeli (D)       | KDT        | 7.566 mt           | □251,52        |
|                        |                     | Kısmen Esnek (E1) | KE1T       | 7.490 mt           | □249,32        |
|                        |                     | Esnek (E2)        | KE2T       | 7.434 mt           | □247,12        |
|                        | Raftan Dağıtım (R)  | Dengeli (D)       | RDT        | 7.833 mt           | □261,66        |
|                        |                     | Kısmen Esnek (E1) | RE1T       | 7.315 mt           | □243,88        |
|                        |                     | Esnek (E2)        | RE2T       | 7.101 mt           | □237,63        |

Analiz sonuçları esneklik düzeyinin artırılmasının hem toplam taşıma mesafesini hem de maliyeti azalttığını açıkça göstermektedir. Kapıdan dağıtım modellerinde en düşük maliyet 247,12 TL ile KE2T varyantında elde edilirken, benzer şekilde en düşük mesafe de (7434 mt) bu modelde gerçekleşmiştir. Raftan dağıtım kategorisinde en yüksek maliyet 261,66 TL ile RDT modelinde gözlemlenirken, en düşük maliyet 237,63 TL ile

RE2T varyantında elde edilmiştir. Bu model aynı zamanda en kısa taşıma mesafesine (7.101 mt) sahiptir.

Bu sonuçlar sistemin operasyonel esneklik düzeyinin artırılmasının maliyet optimizasyonu üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Esnek depo slotlama modeli yapılarına geçilmesiyle taşıma rotaları ve araç tercihleri daha verimli planlanabilmektedir. Bu durum, toplam maliyetlerin azaltılmasına doğrudan etki etmektedir.

### **3.4.3. Yüzdesel İyileştirme Analizleri**

İncelenen tesisin iç lojistik süreçlerin verimliliğini artırmak için yapılan uygulama çalışmasında depolama ve araç seçimi modelleri temel kategorilere ayrılmıştır. Bu modeller, iç lojistik sürecinin çeşitli aşamalarının iyileştirilmesi için tamamlayıcı yöntemler sunmaktadır. Depolama modeli ürünlerin etkin bir şekilde yönetilmesini sağlarken, araç seçimi modeli ise dağıtım sürecinde uygun araç tahsisini hedeflemektedir. Amaç, farklı operasyonel ihtiyaçlara göre çeşitli varyasyonlarla sürecin optimize edilmesidir. Depolama ve araç seçimi modelleri, farklı modifikasyonlarla farklı esneklik seviyeleriyle analiz edilmiştir. Bu değişiklikler, nakliye süreci boyunca araç yerleşiminin depolama planlamasıyla daha uyumlu olmasını sağlayarak operasyonel verimliliği artırmaktadır. Depolama ve taşıma aşamaları optimize edilerek lojistik süreci bütünsel bir yaklaşımla ele alınmaktadır. Dağıtım ve depolama süreçlerinin entegre edilmesi lojistik operasyonlarının verimliliğini artırmaktadır. İç lojistik süreçlerinde farklı model tiplerinin esneklik düzeylerine göre performanslarının değerlendirilmesi amacıyla gerçekleştirilen analizin sonuçları Tablo 37’de sunulmaktadır. Bu tablo depo slotlama modelleri ve taşıt seçim modelleri olarak iki ana kategoriye ayrılmıştır: Her model tipi için dengeli (D), kısmen esnek (E1) ve esnek (E2) düzeylerinde çeşitli varyasyonlar dikkate alınmıştır. Modelin toplam taşıma mesafesi (metre) ve toplam maliyeti (₺) karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Elde edilen sonuçlar, esneklik düzeylerinin operasyonel verimliliğe olan etkisinin anlaşılması açısından önemli bilgiler sunmaktadır. Tablo 37’de gösterildiği gibi, lojistik süreçlerinin iyileştirilmesi için farklı senaryoların ve model varyasyonlarının toplam mesafe ve maliyet üzerindeki etkisi analiz edilmiştir. Depolama atama modelleri ve taşıt seçim modelleri olmak üzere iki ana kategori ele alınmış ve elde edilen sonuçlar esneklik düzeylerine göre detaylandırılmıştır.

**Tablo 37***Senaryolar ve Model Varyantlarına Ait Mesafe ve Maliyet Analizi Tablosu*

| Kategori                 | Model Türü          | Esneklik Seviyesi | Varyantlar | Toplam Mesafe | Toplam Maliyet |
|--------------------------|---------------------|-------------------|------------|---------------|----------------|
| Depolama Atama Modelleri | Kapıdan Dağıtım (K) | Dengeli (D)       | KD         | 7.566 mt      | -              |
|                          |                     | Kısmen Esnek (E1) | KE1        | 7.490 mt      | -              |
|                          |                     | Esnek (E2)        | KE2        | 7.434 mt      | -              |
|                          | Raftan Dağıtım (R)  | Dengeli (D)       | RD         | 7.833 mt      | -              |
|                          |                     | Kısmen Esnek (E1) | RE1        | 7.316 mt      | -              |
|                          |                     | Esnek (E2)        | RE2        | 7.101 mt      | -              |
| Taşıt Seçimi Modelleri   | Kapıdan Dağıtım (K) | Dengeli (D)       | KDT        | -             | □252           |
|                          |                     | Kısmen Esnek (E1) | KE1T       | -             | □230           |
|                          |                     | Esnek (E2)        | KE2T       | -             | □251           |
|                          | Raftan Dağıtım (R)  | Dengeli (D)       | RDT        | -             | □262           |
|                          |                     | Kısmen Esnek (E1) | RE1T       | -             | □241           |
|                          |                     | Esnek (E2)        | RE2T       | -             | □235           |

Depolama tahsis modeli iki farklı model tipi için değerlendirilmiştir: Kapıdan dağıtım (K) ve Raftan dağıtım (R). Bu iki model için toplam mesafe değerleri farklı esneklik seviyeleri dikkate alınarak hesaplanmıştır. Kapıdan dağıtım yapıldığında tercih edilebilecek modellerin esneklik seviyesine göre aralarındaki toplam mesafeler şu şekildedir;

- Dengeli depo slotlama modelinin toplam uzaklığı (KD) 7.566 m olarak belirlenmiştir.
- Kısmen esnek depo slotlama modelin (KE1) toplam mesafesi 7.490 m olup, dengeli depo slotlama modeline göre bir miktar azalmaktadır.
- Esnek depo slotlama modeli (KE2) toplam mesafe ile 7.434 m ile en düşük değeri göstermiş olup, bu durum esneklik arttıkça modelin hesapladığı rota mesafesinin azaldığını göstermektedir.

Raftan dağıtım (R) seçildiğinde ise modellerin esneklik seviyesine göre aralarındaki toplam mesafeler şu şekildedir;

- Dengeli taşıt modelinin (RD) toplam mesafesi 7.833 m olarak hesaplanmıştır.
- Kısmen esnek taşıt modelinde (RE1) bu mesafe 7.316 mt'ye düşürüldüğü görülmüştür.
- Esnek taşıt modelinde (RE2) ise 7.101 mt ile en düşük mesafe değerine ulaşmıştır.

Bu bulgular, esneklik düzeylerinin artırılmasının toplam mesafeyi azalttığını ve operasyonel verimliliği iyileştirdiğini göstermektedir.

Taşıt Seçim Modeli için kapıdan dağıtım (K) ve raftan dağıtım (R) temelinde çeşitli varyasyonlarla analiz edilmiştir. Burada toplam kat edilen mesafeden ziyade aracın toplam kullanım maliyeti araştırılmıştır.

Kapıdan Dağıtım (K) Modeli için taşıt seçim modeli oluşturulduğunda elde edilen bulgular şu şekildedir;

- Dengeli taşıt modelinin toplam maliyeti (KDT) 252 TL olarak hesaplanmıştır.
- Kısmen esnek taşıt modelinin (KE1T) maliyeti ise dengeli taşıt modeline göre azalarak 230 TL olmuştur.
- Esnek taşıt modelin (KE2T) toplam maliyeti 251 TL olarak belirlenmiştir.

Raftan Dağıtım (R) Modeli için taşıt seçim modeli oluşturulduğunda elde edilen bulgular şu şekildedir;

- Dengeli taşıt modelinin (RDT) toplam maliyeti 262 TL olarak hesaplanmıştır.
- Kısmen esnek taşıt modelinin (RE1T) için bu değer 241 TL'ye düşürülmüştür.
- Esnek taşıt modelin (RE2T) toplam maliyeti 235 TL olarak belirlenmiştir.

Bu analiz, daha esnek bir model kullanmanın ulaşım maliyetlerini azaltabileceğini ve operasyonel optimizasyona katkıda bulunabileceğini göstermektedir. Genel bir değerlendirme yapılacak olursa, Tablo 37'de sunulan veriler, lojistik süreçlerinde esneklik düzeyinin artırılmasının hem mesafe hem de maliyet açısından fayda sağlayabileceğini göstermektedir. Kapıdan dağıtım ve raftan dağıtım modelleri arasında bazı farklılıklar bulunsun da genel olarak, mesafe ve maliyet açısından tam esnek depo slotlama modellerinin en düşük değeri sunduğu görülmektedir. Bu bulgular, esnekliğin lojistik sistem planlamasında stratejik olarak önemli olduğunu göstermektedir.

Model senaryoları arasında yapılan karşılaştırmalı analiz sonucunda, toplam taşıma mesafesi açısından en yüksek iyileştirme Tablo 38'de de gösterildiği gibi %6,14 ile RE2 modelinde elde edilmiştir. Bu durum, raf seviyesinde tam esnekliğin taşıma sürecine önemli katkı sağladığını ve sistemin fiziksel kaynaklarının kullanımını optimize ettiğini göstermektedir. RE1 modeli ise %3,32'lik bir mesafe tasarrufu sağlayarak, daha kısıtlı esneklikle bile operasyonel verimliliğe katkı sağladığını göstermektedir.

**Tablo 38***Depolama Slotlama Modelleri Yüzdesel İyileştirme Tablosu*

| <b>Kategori</b>          | <b>Model Türü</b>   | <b>Esneklik Seviyesi</b> | <b>Varyantlar</b> | <b>Toplam Mesafe</b> | <b>Yüzdesel İyileştirme</b> |
|--------------------------|---------------------|--------------------------|-------------------|----------------------|-----------------------------|
| Depolama Atama Modelleri | Kapıdan Dağıtım (K) | Dengeli (D)              | KD                | 7.566 mt             | -                           |
|                          |                     | Kısmen Esnek (E1)        | KE1               | 7.490 mt             | 1%                          |
|                          |                     | Esnek (E2)               | KE2               | 7.434 mt             | 1,74%                       |
|                          | Raftan Dağıtım (R)  | Dengeli (D)              | RD                | 7.833 mt             | -3,53%                      |
|                          |                     | Kısmen Esnek (E1)        | RE1               | 7.315 mt             | 3,32%                       |
|                          |                     | Esnek (E2)               | RE2               | 7.101 mt             | 6,14%                       |

Kapıdan Dağıtım modelleri arasında KE2 varyantı %1,74 ile öne çıkmakta olup, referans model olarak benimsenen KD senaryosuyla karşılaştırıldığında sınırlı ancak istikrarlı bir iyileştirme sağladığı görülmektedir. Öte yandan RD modelinde % -3,53 oranında bir performans düşüşü gözlenmiştir. Bu durum, esneklik sağlanmadan uygulanan raf dağıtım sistemlerinin, toplam taşıma mesafesini artırarak verimliliği olumsuz etkileyebileceğini göstermektedir. Genel olarak, modelin esnekliğinin artırılması, taşıma mesafesinde önemli bir iyileşmeye yol açmakta ve depo lojistiğinin performansını doğrudan etkilemektedir.

Taşıma maliyetleri açısından değerlendirildiğinde ise Tablo 39’da verildiği gibi en düşük toplam maliyet 238 TL ile RE2T (esnek taşıt seçimi, raftan dağıtım) modelinde elde edilirken, KDT referans modeline göre %5,52 oranında maliyet iyileştirmesi sağlanmıştır. Bu sonuç, hem raf düzeninde esnekliğin hem de taşıma aracı seçimi kararlarının entegre bir şekilde işlenmesinin, iç lojistik maliyetlerinin en aza indirilmesi açısından kritik öneme sahip olduğunu göstermektedir.

RE1T modeli %3,04, KE2T modeli ise %1,75 oranında iyileştirme sağlamış olup, her iki modelde de araç seçiminin optimizasyon sürecine olumlu katkı sağladığı görülmüştür. Buna karşılık, RDT modeli %-4,03 oranında bir maliyet artışı göstermiştir; bu da esneklik olmadan bir sistemin uygulanmasının beklenenden daha yüksek ulaşım maliyetlerine yol açabileceğini göstermektedir. Bu bağlamda ulaştırma sistemlerinin başarısı yalnızca mesafeye değil, aynı zamanda uygun araç tipinin seçimine ve görev atama stratejilerinin etkinliğine de bağlıdır. Sonuçlar, model esnekliğinin yalnızca mesafe açısından değil aynı zamanda maliyet etkinliği açısından da belirleyici bir rol oynadığını göstermektedir.

**Tablo 39***Taşıt Seçimi Modelleri Yüzdesel İyileştirme Tablosu*

| Kategori               | Model Türü          | Esneklik Seviyesi | Varyantlar | Toplam Maliyet | Yüzdesel İyileştirme |
|------------------------|---------------------|-------------------|------------|----------------|----------------------|
| Taşıt Seçimi Modelleri | Kapıdan Dağıtım (K) | Dengeli (D)       | KDT        | □252           | -                    |
|                        |                     | Kısmen Esnek (E1) | KE1T       | □249           | 0,87%                |
|                        |                     | Esnek (E2)        | KE2T       | □247           | 1,75%                |
|                        | Raftan Dağıtım (R)  | Dengeli (D)       | RDT        | □262           | -4,03%               |
|                        |                     | Kısmen Esnek (E1) | RE1T       | □244           | 3,04%                |
|                        |                     | Esnek (E2)        | RE2T       | □238           | 5,52%                |

Varyantların operasyonel yükü değerlendirildiğinde, önerilen model varyantlarının sadece mesafe ve maliyet kriterleri açısından değil, aynı zamanda operasyonel kontrol edilebilirlik açısından da analizinin hedeflendiği görülmektedir. Matematiksel olarak pratikte optimum sonuçlar veren senaryoların sağlamlığı ve kontrol edilebilirliği, modelin endüstriyel geçerliliği açısından kritik öneme sahiptir. Analiz sonuçlarına göre en yüksek performans RE2 ve RE2T modellerinde elde edilmiştir. Ancak bu modellerin tamamen esnek yapıları, sistemin tüm raf bölmelerinin aktif olarak taranmasını ve raf seviyesinde taşıma planlaması yapılmasını gerektirmektedir. Bu, uygulama aşamasında verilerin, karar değişkenlerinin ve sistem güncellemelerinin daha fazla takibi anlamına gelmektedir. Özellikle RE2T modelinde, her raf bölmesi için araçların yeniden seçilmesi gerektiğinden, operatörlerin iş planlamasının, taşıma rotalarının entegrasyonun ve anlık görev ataması gibi operasyonel süreçlerin daha karmaşık hale gelme potansiyeli bulunmaktadır.

Benzer şekilde, KE2 ve KE2T modelleri kapı düzeyinde esneklik sağladığı için sistematik olarak daha az raf bölmesi ile çalışmaktadırlar ancak yine de KD gibi dengeli taşıt modellerine göre daha yüksek bir operasyonel yük taşımaktadır. Orta düzeyde esneklik sağlayan KE1 ve RE1 varyantları, hem verimlilik hem de kontrol edilebilirlik açısından dengeli bir yapı sunmakta olup, pratikte “uyarlanabilir esnek bir yapıya” olan ihtiyacı karşılayabilmektedirler.

Öte yandan KD ve KDT gibi dengeli taşıt modelleri daha sınırlı bir optimizasyon sonucu sağlamaktadırlar ancak operasyonel yönetim açısından daha kolaydır. Çünkü taşıma rotaları sabit olup sistem kararları daha öngörülebilirdir. Özellikle manuel veya yarı otomasyonlu sistemler kullanan şirketlerde bu tür modeller hata riskini azaltıp uygulama hızını arttırabilmektedir.

Sonuç olarak esnek taşıt modelleri yüksek verimlilik sağlasa da model seçme sürecinde sistemin donanım, yazılım ve insan kaynakları açısından bu yapıya hazır olup olmadığı mutlaka dikkate alınmalıdır. Bu bağlamda önerilen model seçeneklerinin seçiminde sadece performans çıktısı değil aynı zamanda operasyonel sürdürülebilirlik de temel kriter olarak değerlendirilmelidir.



## SONUÇ VE ÖNERİLER

İç lojistik faaliyetlerindeki plansız yerleşim, verimsiz rotalar ve yanlış araç seçimi problemlerini çözmek amacıyla iki aşamalı bütünleşik bir optimizasyon modeli geliştirilmiştir. Bu model, depo düzeni ve araç seçimi kararlarını eş zamanlı değerlendirerek maliyetleri azaltmayı hedeflemektedir. Modelin ilk aşamasında, üretim talebine ve taşıma mesafesine göre hammaddeler raflara en uygun şekilde yerleştirilir. Bu sayede taşıma mesafeleri en aza indirilmekte, malzemeye ulaşım süreleri kısaltılmakta ve depo düzeninde bir standart yakalanmaktadır. İkinci aşamada, depo ile üretim hattı arasındaki taşıma için en uygun araçlar, mesafe, enerji, kapasite ve maliyet kriterlerine göre seçilir. Bu iki aşama entegre çalışarak iç lojistik sistemini bütünsel olarak optimize etmektedir.

Geliştirilen modelin uygulanabilirliği bir üretim tesisinden elde edilen işletme verileri kullanılarak test edilmiş ve modelin sahadaki geçerliliği belirli senaryolar kullanılarak değerlendirilmiştir. Uygulama sırasında farklı esneklik seviyelerine sahip sistem yapılarını temsil eden üç farklı senaryo (dengeli, kısmen esnek ve esnek) geliştirilmiş ve modelin performansı analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar önerilen sistemin hem toplam taşıma mesafesini hem de lojistik faaliyetleriyle ilişkili maliyetleri önemli ölçüde azaltabileceğini göstermiştir. Esnek senaryolarda optimizasyon daha verimli olmuş, taşıma mesafeleri kısalıp dengelenmiştir. İkinci aşama olan araç seçimi enerji ve maliyet açısından daha verimli hale gelmiştir. Bu durum üretim hattının sürekliliğini sağlayarak genel operasyonel verimliliğe doğrudan katkı sağlamaktadır. Bu sonuçlar ışığında önerilen modelin sadece teorik bir çözüm sunmakla kalmayıp aynı zamanda pratik uygulamada da yüksek performans gösterdiği sonucuna varılmıştır.

Analizler, geliştirilen modelin operasyonel ve stratejik kararlarda etkin olduğunu göstermiştir. Model, iç lojistik faaliyetlerinin daha organize, öngörülebilir ve performans odaklı bir şekilde yürütülmesini sağlarken, üst yönetim seviyesinde alınması gereken kapasite planlama, kaynak tahsisi ve maliyet yönetimi kararları veri odaklı bir temele oturtulmaktadır. Bu bağlamda sistem, sadece günlük işlerde değil, uzun vadeli lojistik stratejilerinin belirlenmesinde de karar destek aracı olarak işlev görme potansiyeline sahiptir. Bu tür esnek modelleme yapıları, özellikle üretim hacimlerinin dalgalandığı, malzeme çeşitliliğinin yüksek olduğu veya ulaşım kaynaklarının sınırlı olduğu alanlarda önemli avantajlar sağlamaktadır.

Çalışmada sadece maliyet parametrelerine odaklanan geleneksel yaklaşımların ötesine geçilerek modern üretim ortamlarının öncelikli performans göstergeleri olan enerji verimliliği, zaman yönetimi, kapasite kullanımı ve sürdürülebilirlik de değerlendirme sürecine dahil edilmiştir. Böylece model, sadece ekonomik açıdan değil, çevresel ve operasyonel sürdürülebilirlik açısından da işletmeye stratejik katkı sağlayacak bir yapıya kavuşturulmuştur. Sonuç olarak, bu tezde geliştirilen iki aşamalı entegre optimizasyon modeli, üretim şirketlerinin iç lojistik sistemlerinde karşılaştıkları çok yönlü ve karmaşık karar alma problemlerine sistematik, uygulanabilir ve esnek bir alternatif çözüm sunmaktadır. Geliştirilen çerçevenin reel sektörde hem teorik hem de pratik açıdan literatüre katkı sağlayacak olması çalışmanın bilimsel ve pratik gücünü artırmaktadır. Modelde depo yapısı sabit kabul edilmiş, araç arızası, yol kapanması gibi beklenmeyen durumlar dahil edilmemiştir; bu da modelin sahadaki gerçekliğini kısmen sınırlamaktadır. Öte yandan bu sınırlılıkların sistematik modelleme sürecinin sağlıklı bir şekilde yürütülmesi için gerekli soyutlamalar olduğu ve ileriki araştırmalarda dinamik modelleme yöntemleri ile iyileştirilebileceği düşünülmektedir. Model, iş alanındaki deponun fiziksel yapısını sabit bir değişken olarak alır ve buna dayalı bir optimizasyon algoritması geliştirmiştir. Dolayısıyla depo sahasında yapılabilecek yapısal değişiklikler veya operasyonel düzenlemeler mevcut modelin kapsamı dışında kalmaktadır. Ayrıca, nakliye esnasında ortaya çıkabilecek araç arızaları, insan hataları, vardiya değişiklikleri veya rota kapanmaları gibi öngörülemeyen durumlar mevcut yapıda dikkate alınmamaktadır.

Genel olarak, önerilen modelin hem teorik hem de pratik açıdan iç lojistik yönetimi alanına önemli katkı sağladığı ve veriye dayalı karar alma süreçlerinin işletmelerin sürdürülebilir rekabet gücüne doğrudan katkıda bulunabileceği sonucuna varılmıştır. Önerilen iki aşamalı entegre optimizasyon modelinin genel değerlendirmesinde, hem teorik temelde literatürdeki metodolojik boşlukları doldurduğu, hem de imalat sektöründeki işletmelere pratik açıdan yol gösterici olabilecek bir çözüm sunmaktadır. Sonuç olarak bu tez, yalnızca mevcut lojistik sistemlerin iyileştirilmesi değil, aynı zamanda dijitalleşme ve sürdürülebilirlik odaklı gelecek lojistik stratejilerinin şekillendirilmesi açısından da bir referans niteliği taşımaktadır.

### **Öneriler**

Bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre, üretim işletmelerinin iç lojistik yönetimine yönelik karar alma süreçlerinde daha bütünsel, sistematik ve çok kriterli yaklaşımları

benimsemeleri gerekmektedir. Bu yaklaşım, operasyonel verimliliğin artırılması, kaynakların daha verimli kullanılması, enerji tasarrufu ve üretim akışlarının kesintisiz devam etmesi gibi kritik hedefler açısından büyük önem taşımaktadır.

Gelecekteki araştırmalarda modelin farklı bakış açılarıyla zenginleştirilip değişik üretim senaryolarına uyarlanması önerilmektedir. Öncelikle, depo yerleşiminin zamanla değişebileceği ve sistemin dinamik bir yapıya sahip olduğu durumlara uygun, **gerçek zamanlı veri kullanımı** temelinde çalışan sistemlerin geliştirilmesi, saha uygulamalarında modelin esnekliğini önemli ölçüde artıracaktır. Gerçek zamanlı veri toplama ve analiz sistemleri ile operasyonel kararlar anında güncellenebilmekte ve model reaktif yapıdan proaktif yapıya dönüştürülebilmektedir. Ayrıca, belirsizliklerin daha gerçekçi bir şekilde temsili için **bulanık mantık ve yapay zeka entegrasyonu**, stokastik modelleme yöntemleriyle birlikte kullanılarak modelin öngörü yeteneğini ve karar kalitesini daha da artıracaktır.”

Öte yandan, taşıma süreçlerinde ortaya çıkabilecek trafik sıkışıklığı, araç arızaları, personel gecikmeleri, vardiya değişiklikleri veya yol kapanmaları gibi acil durum senaryolarının sistem ortamına dahil edilmesi, modelin gerçeklikle uyumluluğunu artıracaktır; Böylece karar destek sisteminin risk yönetimi açısından da kullanımı mümkün hale gelecektir. Ayrıca geliştirilen modelin sadece bir üretim tesisinde değil, farklı sektörlerde ait üretim ortamlarında da test edilmesi, geliştirilen modelin genellenebilirliği ve sektörel uyarlanabilirliğinin değerlendirilmesi açısından önemlidir; bu doğrultuda modelin otomotiv, gıda ve tekstil gibi çeşitli üretim ortamlarında uygulanması önerilmektedir.

Modelin otomotiv, gıda ve tekstil gibi farklı sektörlerde karşılaştırmalı analizleri yapılmalıdır. Böylece genelleştirilebilirliği ve sektörlere uyarlanabilirliği test edilebilir. Bu öneriler doğrultusunda yapılacak çalışmalar, iç lojistik süreçlerini iyileştirip Endüstri 4.0 uygulamalarını destekleyecektir. Bu sayede işletmeler hem mevcut verimliliklerini artıracak hem de dijitalleşen üretim ortamlarında sürdürülebilir rekabet gücüne ulaşabileceklerdir.

## KAYNAKÇA

- Alanur, H. (2014). *Soğuk zincir lojistik yönetiminde dış kaynak kullanımının işletme performansı üzerine etkisi: Gıda tedarik zincirine yönelik bir alan çalışması*. (Yüksek Lisans Tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi.
- Alnahhal, M., Gjeldum, N., Ruzayqat, M. ve He, X. (2024). Efficient material flow and storage space determination in automated distribution centers. *Journal of Engineering*, 2024(1). <https://doi.org/10.1155/2024/9913723>
- Amjath, M., Kerbach, L. ve Smith, J. M. (2024). A closed queueing networks approach for an optimal heterogeneous fleet size of an inter-facility bulk material transfer system. *Logistics*, 8(1). 26-64. <https://doi.org/10.3390/logistics8010026>
- Ang, M. ve Lim, Y. F. (2019). How to optimize storage classes in a unit-load warehouse. *European Journal of Operational Research*, 278(1), 186-201. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2019.03.046>
- Ateş, O. (2018). *Üretimde yalın lojistik sisteminin aksiyomlarla tasarımı*. (Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi.
- Bahrami, B., Aghezzaf, E.-H. ve Limère, V. (2019). Enhancing the order picking process through a new storage assignment strategy in forward-reserve area. *International Journal of Production Research*, 57(21), 6593-6614. <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1567953>
- Barenji, A. V., Wang, W. M., Li, Z. ve Guerra-Zubiaga, D. A. (2019). Intelligent e-commerce logistics platform using hybrid agent based approach. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 126, 15-31. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2019.04.002>
- Berg, V. D. ve Jeroen, P. (1999). A literature survey on planning and control of warehousing systems. *IIE Transactions*, 31, 751-762. <https://doi.org/10.1023/A:1007606228790>
- Bortolini, M., Botti, L., Cascini, A., Gamberi, M., Mora, C. ve Pilati, F. (2015). Unit-load storage assignment strategy for warehouses in seismic areas. *Computers & Industrial Engineering*, 87, 481-490. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2015.05.023>
- Bottani, E., Montanari, R., Rinaldi, M. ve Vignali, G. (2015). Intelligent algorithms for warehouse management. In: *Intelligent techniques in engineering management* 87. 645-667. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-17906-3\\_25](https://doi.org/10.1007/978-3-319-17906-3_25)
- Cacchiani, V., Caprara, A. ve Toth, P. (2010). Solving a real-world train-unit assignment problem. *Mathematical Programming*, 124(1-2), 207-231. <https://doi.org/10.1007/s10107-010-0361-y>
- Calzavara, M., Glock, C. H., Grosse, E. H., Persona, A. ve Sgarbossa, F. (2017). Analysis of economic and ergonomic performance measures of different rack layouts in an order picking warehouse. *Computers & Industrial Engineering*,

111, 527-536. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2016.07.001>

- Caputo, A. C., Pelagagge, P. M. ve Salini, P. (2017). Selection of assembly lines feeding policies based on parts features and scenario conditions. *International Journal of Production Research*, 56(3), 1208-1232. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1407882>
- Chen, F., Wang, H., Qi, C. ve Xie, Y. (2013). An ant colony optimization routing algorithm for two order pickers with congestion consideration. *Computers & Industrial Engineering*, 66(1), 77-85. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2013.06.013>
- Chen, F., Wang, H., Xie, Y. ve Qi, C. (2014). An aco-based online routing method for multiple order pickers with congestion consideration in warehouse. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 27(2), 389-408. <https://doi.org/10.1007/s10845-014-0871-1>
- Chen, L., Langevin, A. ve Riopel, D. (2011). A tabu search algorithm for the relocation problem in a warehousing system. *International Journal of Production Economics*, 129(1), 147-156. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2010.09.012>
- Chiang, T.-A., Che, Z.-H., Lee, C.-H. ve Liang, W.-C. (2021). Applying clustering methods to develop an optimal storage location planning-based consolidated picking methodology for driving the smart manufacturing of wireless modules. *Applied Sciences*, 11(21). <https://doi.org/10.3390/app11219895>
- Chuang, Y.-F., Lee, H.-T. ve Lai, Y.-C. (2012). Item-associated cluster assignment model on storage allocation problems. *Computers & Industrial Engineering*, 63(4), 1171-1177. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2012.06.021>
- Cortés, P., Gómez-Montoya, R. A., Muñuzuri, J. ve Correa-Espinal, A. (2017). A tabu search approach to solving the picking routing problem for large- and medium-size distribution centres considering the availability of inventory and k heterogeneous material handling equipment. *Applied Soft Computing*, 53, 61-73. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2016.12.026>
- Çim, A. O. (2019). *Kayseri’de faaliyet gösteren firmaların ihracatta karşılaştıkları lojistik sorunlar*. (Yüksek Lisans Tezi). Nuh Naci Yazgan Üniversitesi.
- Dinçer, S. ve Diskaya, F. (2018). Yeşil lojistik yönetiminde araç rotalama optimizasyonu için bir model önerisi. *Beykoz Akademi Dergisi*, 6(1), 26-49. <https://doi.org/10.14514/BYK.m.21478082.2018.6/1.26-49>
- Elmas, G. (2011). *Bursa bölgesinde otomotiv lojistiği ve otomotiv terminallerinde kapasite analizi*. (Doktora Tezi). İstanbul Üniversitesi.
- Fumi, A., Scarabotti, L. ve Schiraldi, M. M. (2013). The effect of slot-code optimization in warehouse order picking. *International Journal of Engineering Business Management*, 5. <https://doi.org/10.5772/56803>
- Gamberini, R., Grassi, A., Mora, C. ve Rimini, B. (2008). An innovative approach for optimizing warehouse capacity utilization. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 11(2), 137-165.

<https://doi.org/10.1080/13675560701507410>

- Gao, S., Wu, J. ve Ai, J. (2021). Multi-uav reconnaissance task allocation for heterogeneous targets using grouping ant colony optimization algorithm. *Soft Computing*, 25(10), 7155-7167. <https://doi.org/10.1007/s00500-021-05675-8>
- Glock, C. H. ve Grosse, E. H. (2012). Storage policies and order picking strategies in u-shaped order-picking systems with a movable base. *International Journal of Production Research*, 50(16), 4344-4357. <https://doi.org/10.1080/00207543.2011.588621>
- Grosse, E. H. ve Glock, C. H. (2013). An experimental investigation of learning effects in order picking systems. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 24(6), 850-872. <https://doi.org/10.1108/jmtm-03-2012-0036>
- Grosse, E. H., Glock, C. H. ve Jaber, M. Y. (2013). The effect of worker learning and forgetting on storage reassignment decisions in order picking systems. *Computers & Industrial Engineering*, 66(4), 653-662. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2013.09.013>
- He, J., Huang, Y., Yan, W. ve Wang, S. (2015). Integrated internal truck, yard crane and quay crane scheduling in a container terminal considering energy consumption. *Expert Systems with Applications*, 42(5), 2464-2487. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2014.11.016>
- Jane, C. C. ve Lai, Y.-W. (2005). A clustering algorithm for item assignment in a synchronized zone order picking system. *European Journal of Operational Research*, 166(2), 489-496. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2004.01.042>
- Kim, B. S. ve Smith, J. S. (2012). Slotting methodology using correlated improvement for a zone-based carton picking distribution system. *Computers & Industrial Engineering*, 62(1), 286-295. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2011.09.016>
- Köse, M. (2018). *Tedarik zinciri yönetiminde ipek yoluna alternatif hatların araştırılması*. (Yüksek Lisans Tezi). Maltepe Üniversitesi.
- Kulaç, S. (2019). *Otomotiv sektöründe faaliyet gösteren bir firmada iç lojistik sisteminin tasarımı*. (Yüksek Lisans Tezi). Sakarya Üniversitesi.
- Li, Y., Chen, X., An, Y., Zhao, Z., Cao, H. ve Jiang, J. (2023). Integrating machine layout, transporter allocation and worker assignment into job-shop scheduling solved by an improved non-dominated sorting genetic algorithm. *Computers & Industrial Engineering*, 179. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109169>
- Li, Y., Li, L., Liu, R. ve Pan, E. (2024). An integrated scheduling method for agvs in an automated container terminal considering battery swapping and battery degradation. *Flexible Services and Manufacturing Journal*. 2024. 1-48. <https://doi.org/10.1007/s10696-024-09581-7>
- Lin, C. C., Liu, W.-Y. ve Chen, Y.-H. (2019). Considering stockers in reentrant hybrid flow shop scheduling with limited buffer capacity. *Computers & Industrial Engineering*, 139(1):106154. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106154>

- Litvak, N. ve Vlasious, M. (2010). A survey on performance analysis of warehouse carousel systems. *Statistica Neerlandica*, 64(4), 401-447. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9574.2010.00454.x>
- Liu, Z. ve Song, Z. (2018). Dynamic charging infrastructure deployment for plug-in hybrid electric trucks. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 95, 748-772. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2018.08.011>
- Maculan, N., Marcos de Mendonça, P., José André de Moura, B. ve Loiseau, I. (2003). Column-generation in integer linear programming. *RAIRO - Operations Research*, 37(2), 67-83. <https://doi.org/10.1051/ro:2003014>
- Mahmoudi, M., Song, Y., Miller, H. J. ve Zhou, X. (2019). Accessibility with time and resource constraints: Computing hyper-prisms for sustainable transportation planning. *Computers, Environment and Urban Systems*, 73, 171-183. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2018.10.002>
- Manzini, R., Gamberi, M. ve Regattieri, A. (2005). Design and control of an AS/RS. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 28(7-8), 766-774. <https://doi.org/10.1007/s00170-004-2427-6>
- McFarlane, D., Giannikas, V. ve Lu, W. (2016). Intelligent logistics: Involving the customer. *Computers in Industry*, 81, 105-115. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2015.10.002>
- Min, K. ve Lim, D. (2023). Designing automated logistics warehouse stackable bidirectional infinite-loop modules. *Applied Sciences*, 13(22). <https://doi.org/10.3390/app132212472>
- Mirheli, A. ve Hajibabai, L. (2022). Hierarchical optimization of charging infrastructure design and facility utilization. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 23(9), 15574-15587. <https://doi.org/10.1109/tits.2022.3142196>
- Mukherjee, T., Sangal, I., Sarkar, B., Alkadash, T. M. ve Almaamari, Q. (2023). Pallet distribution affecting a machine's utilization level and picking time. *Mathematics*, 11(13). <https://doi.org/10.3390/math11132956>
- Murray, C. C. ve Karwan, M. H. (2010). An extensible modeling framework for dynamic reassignment and rerouting in cooperative airborne operations. *Naval Research Logistics (NRL)*, 57(7), 634-652. <https://doi.org/10.1002/nav.20427>
- Nguyen, H. T., Dawal, S. Z., Nukman, Y., Rifai, A. P. ve Aoyama, H. (2016). An integrated mcdm model for conveyor equipment evaluation and selection in an fmc based on a fuzzy ahp and fuzzy aras in the presence of vagueness. *PLoS One*, 11(4), e0153222. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0153222>
- Nikzad, E., Bashiri, M. ve Abbasi, B. (2021). A matheuristic algorithm for stochastic home health care planning. *European Journal of Operational Research*, 288(3), 753-774. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2020.06.040>
- Özkan, H. (2015). *Lojistik köylerin personel tedariğinde meslek yüksekokullarının rolü: Sinop ve Samsun illerinde uygulama*. (Yüksek Lisans Tezi). Maltepe

Üniversitesi.

- Öztürkoğlu, Ö. (2018). A bi- objective mathematical model for product allocation in block stacking warehouses. *International Transactions in Operational Research*, 27(4), 2184-2210. <https://doi.org/10.1111/itor.12506>
- Pinto, A. R. F., Nagano, M. S. ve Boz, E. (2023). A classification approach to order picking systems and policies: Integrating automation and optimization for future research. *Results in Control and Optimization*, 12(6):100281. <https://doi.org/10.1016/j.rico.2023.100281>
- Qin, Z., Yang, P., Gong, Y. ve de Koster, R. B. M. (2024). Performance analysis of multi-tote storage and retrieval autonomous mobile robot systems. *Transportation Science*, 58(5), 1033-1055. <https://doi.org/10.1287/trsc.2023.0397>
- Revillot-Narváez, D., Pérez-Galarce, F. ve Álvarez-Miranda, E. (2019). Optimising the storage assignment and order-picking for the compact drive-in storage system. *International Journal of Production Research*, 58(22), 6949-6969. <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1687951>
- Roodbergen, K. J. ve Vis, I. F. A. (2006). A model for warehouse layout. *IIE Transactions*, 38(10), 799-811. <https://doi.org/10.1080/07408170500494566>
- Roosbeh, N. A., Haleh, H. ve Saghaei, A. (2017). Energy-conscious dynamic sequencing method for dual command cycle unit-load multiple-rack automated storage and retrieval systems. *Scientia Iranica*, 24(6), 3371-3393. <https://doi.org/10.24200/sci.2017.4395>
- Saidi, O., Masmoudi, M., Kobbold, K., Lizarazo, E. ve Albert, P. (2022). Optimizing warehousing and transportation for a network of healthcare institutions: Case of territorial hospital group in France. *Supply Chain Forum: An International Journal*, 24(4), 428-442. <https://doi.org/10.1080/16258312.2022.2037391>
- Sajid, M., Mittal, H., Pare, S. ve Prasad, M. (2022). Routing and scheduling optimization for uav assisted delivery system: A hybrid approach. *Applied Soft Computing*, 126(1):109225. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2022.109225>
- Sari, Z., Grasman, S. E. ve Ghouali, N. (2007). Impact of pickup/delivery stations and restoring conveyor locations on retrieval time models of flow-rack automated storage and retrieval systems. *Production Planning & Control*, 18(2), 105-116. <https://doi.org/10.1080/09537280600909494>
- Shetty, N., Sah, B. ve Chung, S. H. (2020). Route optimization for warehouse order picking operations via vehicle routing and simulation. *SN Applied Sciences*, 2(2). <https://doi.org/10.1007/s42452-020-2076-x>
- Wutthisirisart, P., Noble, J. S. ve Alec Chang, C. (2015). A two-phased heuristic for relation-based item location. *Computers & Industrial Engineering*, 82, 94-102. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2015.01.020>
- Yang, M. F., Shih, P. H., Pan, J. C. H. ve Li, M. C. (2021). The optimal layout design

for minimizing operating costs in a picker-to-part warehousing system. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 118(7-8), 2523-2537. <https://doi.org/10.1007/s00170-021-08026-x>

Yang, M., Fu, M. ve Zhang, Z. (2021). The adoption of digital technologies in supply chains: Drivers, process and impact. *Technological Forecasting and Social Change*, 169. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120795>

Yavaş, H. A. (2018). *Bir beyaz eşya fabrikasında milk run uygulaması ve karar destek sistemi tasarımı*. (Yüksek Lisans Tezi). Gazi Üniversitesi.

Zaerpour, N., Yu, Y. ve deKoster, R. B. M. (2015). Storing fresh produce for fast retrieval in an automated compact cross-dock system. *Production and Operations Management*, 24(8), 1266-1284. <https://doi.org/10.1111/poms.12321>

Zenginçelebi, Ö. (2013). *Lojistik dış kaynak kullanımının işletmelerin rekabet gücüne etkisi*. (Yüksek Lisans Tezi). Maltepe Üniversitesi.

Zhang, G., Nishi, T., Turner, S. D. O., Oga, K. ve Li, X. (2017). An integrated strategy for a production planning and warehouse layout problem: Modeling and solution approaches. *Omega*, 68, 85-94. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2016.06.005>

Zhang, Y. ve Tao, F. (2017). IoT-enabled smart trolley. In *Optimization of Manufacturing Systems Using The Internet Of Things*, 12. 109-127. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-809910-0.00006-8>

Zhao, L. ve Malikopoulos, A. A. (2019). Enhanced mobility with connectivity and automation: A review of shared autonomous vehicle systems. *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, 14(1), 87-102. <https://doi.org/10.1109/mits.2019.2953526>

Zhou, L., Liu, H., Zhao, J., Wang, F. ve Yang, J. (2022). Performance analysis of picking routing strategies in the leaf layout warehouse. *Mathematics*, 10(17). <https://doi.org/10.3390/math10173149>

## EKLER

**Ek 1. Raf Bölmesi Koordinatları**

| Raf Adresi<br>kat1 | Raf Adresi<br>kat2 | Raf Adresi<br>kat3 | X, Y         | X(Mt) | Y(Mt) |
|--------------------|--------------------|--------------------|--------------|-------|-------|
| R1-01-01           | R1-01-02           | R1-01-03           | 35, 87       | 35    | 87    |
| R1-02-01           | R1-02-02           | R1-02-03           | 35, 89       | 35    | 89    |
| R1-03-01           | R1-03-02           | R1-03-03           | 35, 91       | 35    | 91    |
| R1-04-01           | R1-04-02           | R1-04-03           | 35, 93       | 35    | 93    |
| R1-05-01           | R1-05-02           | R1-05-03           | 35, 95       | 35    | 95    |
| R1-06-01           | R1-06-02           | R1-06-03           | 35, 97       | 35    | 97    |
| R1-07-01           | R1-07-02           | R1-07-03           | 35, 99       | 35    | 99    |
| R1-08-01           | R1-08-02           | R1-08-03           | 35, 101      | 35    | 101   |
| R1-09-01           | R1-09-02           | R1-09-03           | 35, 103      | 35    | 103   |
| R1-10-01           | R1-10-02           | R1-10-03           | 35, 105      | 35    | 105   |
| R1-11-01           | R1-11-02           | R1-11-03           | 35, 107      | 35    | 107   |
| R1-12-01           | R1-12-02           | R1-12-03           | 35, 109      | 35    | 109   |
| R1-13-01           | R1-13-02           | R1-13-03           | 35, 111      | 35    | 111   |
| R1-14-01           | R1-14-02           | R1-14-03           | 35, 113      | 35    | 113   |
| R1-15-01           | R1-15-02           | R1-15-03           | 35, 115      | 35    | 115   |
| R2-01-01           | R2-01-02           | R2-01-03           | 1, 5, 109, 5 | 1,5   | 109,5 |
| R2-02-01           | R2-02-02           | R2-02-03           | 2, 5, 109, 5 | 2,5   | 109,5 |
| R2-03-01           | R2-03-02           | R2-03-03           | 3, 5, 109, 5 | 3,5   | 109,5 |
| R2-04-01           | R2-04-02           | R2-04-03           | 4, 5, 109, 5 | 4,5   | 109,5 |
| R2-05-01           | R2-05-02           | R2-05-03           | 5, 5, 109, 5 | 5,5   | 109,5 |
| R2-06-01           | R2-06-02           | R2-06-03           | 6, 5, 109, 5 | 6,5   | 109,5 |
| R3-01-01           | R3-01-02           | R3-01-03           | 65, 87       | 65    | 87    |
| R3-02-01           | R3-02-02           | R3-02-03           | 65, 89       | 65    | 89    |
| R3-03-01           | R3-03-02           | R3-03-03           | 65, 91       | 65    | 91    |
| R3-04-01           | R3-04-02           | R3-04-03           | 65, 93       | 65    | 93    |
| R3-05-01           | R3-05-02           | R3-05-03           | 65, 95       | 65    | 95    |
| R3-06-01           | R3-06-02           | R3-06-03           | 65, 97       | 65    | 97    |
| R3-07-01           | R3-07-02           | R3-07-03           | 65, 99       | 65    | 99    |
| R3-08-01           | R3-08-02           | R3-08-03           | 65, 101      | 65    | 101   |
| R3-09-01           | R3-09-02           | R3-09-03           | 65, 103      | 65    | 103   |
| R3-10-01           | R3-10-02           | R3-10-03           | 65, 105      | 65    | 105   |
| R3-11-01           | R3-11-02           | R3-11-03           | 65, 107      | 65    | 107   |
| R3-12-01           | R3-12-02           | R3-12-03           | 65, 109      | 65    | 109   |
| R3-13-01           | R3-13-02           | R3-13-03           | 65, 111      | 65    | 111   |
| R3-14-01           | R3-14-02           | R3-14-03           | 65, 113      | 65    | 113   |
| R3-15-01           | R3-15-02           | R3-15-03           | 65, 115      | 65    | 115   |
| R4-01-01           | R4-01-02           | R4-01-03           | 135, 89      | 135   | 89    |
| R4-02-01           | R4-02-02           | R4-02-03           | 135, 91      | 135   | 91    |
| R4-03-01           | R4-03-02           | R4-03-03           | 135, 93      | 135   | 93    |

|           |          |          |               |      |       |
|-----------|----------|----------|---------------|------|-------|
| R4-04-01  | R4-04-02 | R4-04-03 | 135, 95       | 135  | 95    |
| R4-05-01  | R4-05-02 | R4-05-03 | 135, 97       | 135  | 97    |
| R4-06-01  | R4-06-02 | R4-06-03 | 135, 99       | 135  | 99    |
| R4-07-01  | R4-07-02 | R4-07-03 | 135, 101      | 135  | 101   |
| R4-08-01  | R4-08-02 | R4-08-03 | 135, 103      | 135  | 103   |
| R4-09-01  | R4-09-02 | R4-09-03 | 135, 105      | 135  | 105   |
| R4-10-01  | R4-10-02 | R4-10-03 | 135, 107      | 135  | 107   |
| R4-11-01  | R4-11-02 | R4-11-03 | 135, 109      | 135  | 109   |
| R4-12-01  | R4-12-02 | R4-12-03 | 135, 111      | 135  | 111   |
| R4-13-01  | R4-13-02 | R4-13-03 | 135, 113      | 135  | 113   |
| R4-14-01  | R4-14-02 | R4-14-03 | 135, 115      | 135  | 115   |
| R5-01-01  | R5-01-02 | R5-01-03 | 11, 5, 109, 5 | 11,5 | 109,5 |
| R5-02-01  | R5-02-02 | R5-02-03 | 12, 5, 109, 5 | 12,5 | 109,5 |
| R5-03-01  | R5-03-02 | R5-03-03 | 13, 5, 109, 5 | 13,5 | 109,5 |
| R5-04-01  | R5-04-02 | R5-04-03 | 14, 5, 109, 5 | 14,5 | 109,5 |
| R5-05-01  | R5-05-02 | R5-05-03 | 15, 5, 109, 5 | 15,5 | 109,5 |
| R5-06-01  | R5-06-02 | R5-06-03 | 16, 5, 109, 5 | 16,5 | 109,5 |
| R5-07-01  | R5-07-02 | R5-07-03 | 17, 5, 109, 5 | 17,5 | 109,5 |
| R5-08-01  | R5-08-02 | R5-08-03 | 18, 5, 109, 5 | 18,5 | 109,5 |
| R5-09-01  | R5-09-02 | R5-09-03 | 19, 5, 109, 5 | 19,5 | 109,5 |
| R5-10-01  | R5-10-02 | R5-10-03 | 20, 5, 109, 5 | 20,5 | 109,5 |
| R5-11-01  | R5-11-02 | R5-11-03 | 21, 5, 109, 5 | 21,5 | 109,5 |
| PR1-01-01 | -        | -        | 155, 89       | 155  | 89    |
| PR1-02-01 | -        | -        | 155, 91       | 155  | 91    |
| PR1-03-01 | -        | -        | 155, 93       | 155  | 93    |
| PR1-04-01 | -        | -        | 155, 95       | 155  | 95    |
| PR1-05-01 | -        | -        | 155, 97       | 155  | 97    |
| PR1-06-01 | -        | -        | 155, 99       | 155  | 99    |
| PR1-07-01 | -        | -        | 155, 101      | 155  | 101   |
| PR1-08-01 | -        | -        | 155, 103      | 155  | 103   |
| PR1-09-01 | -        | -        | 155, 105      | 155  | 105   |
| PR1-10-01 | -        | -        | 155, 107      | 155  | 107   |
| PR1-11-01 | -        | -        | 155, 109      | 155  | 109   |
| PR1-12-01 | -        | -        | 155, 111      | 155  | 111   |
| PR1-13-01 | -        | -        | 155, 113      | 155  | 113   |
| PR1-14-01 | -        | -        | 155, 115      | 155  | 115   |
| PR1-01-02 | -        | -        | 195, 89       | 195  | 89    |
| PR1-02-02 | -        | -        | 195, 91       | 195  | 91    |
| PR1-03-02 | -        | -        | 195, 93       | 195  | 93    |
| PR1-04-02 | -        | -        | 195, 95       | 195  | 95    |
| PR1-05-02 | -        | -        | 195, 97       | 195  | 97    |
| PR1-06-02 | -        | -        | 195, 99       | 195  | 99    |
| PR1-07-02 | -        | -        | 195, 101      | 195  | 101   |
| PR1-08-02 | -        | -        | 195, 103      | 195  | 103   |
| PR1-09-02 | -        | -        | 195, 105      | 195  | 105   |
| PR1-10-02 | -        | -        | 195, 107      | 195  | 107   |

|           |          |          |          |     |     |
|-----------|----------|----------|----------|-----|-----|
| PR1-11-02 | -        | -        | 195, 109 | 195 | 109 |
| PR1-12-02 | -        | -        | 195, 111 | 195 | 111 |
| PR1-13-02 | -        | -        | 195, 113 | 195 | 113 |
| PR1-14-02 | -        | -        | 195, 115 | 195 | 115 |
| R6-01-01  | R6-01-02 | R6-01-03 | 215, 87  | 215 | 87  |
| R6-02-01  | R6-02-02 | R6-02-03 | 215, 89  | 215 | 89  |
| R6-03-01  | R6-03-02 | R6-03-03 | 215, 91  | 215 | 91  |
| R6-04-01  | R6-04-02 | R6-04-03 | 215, 93  | 215 | 93  |
| R6-05-01  | R6-05-02 | R6-05-03 | 215, 95  | 215 | 95  |
| R6-06-01  | R6-06-02 | R6-06-03 | 215, 97  | 215 | 97  |
| R6-07-01  | R6-07-02 | R6-07-03 | 215, 99  | 215 | 99  |
| R6-08-01  | R6-08-02 | R6-08-03 | 215, 101 | 215 | 101 |
| R6-09-01  | R6-09-02 | R6-09-03 | 215, 103 | 215 | 103 |
| R6-10-01  | R6-10-02 | R6-10-03 | 215, 105 | 215 | 105 |
| R6-11-01  | R6-11-02 | R6-11-03 | 215, 107 | 215 | 107 |
| R6-12-01  | R6-12-02 | R6-12-03 | 215, 109 | 215 | 109 |
| R6-13-01  | R6-13-02 | R6-13-03 | 215, 111 | 215 | 111 |
| R6-14-01  | R6-14-02 | R6-14-03 | 215, 113 | 215 | 113 |
| R6-15-01  | R6-15-02 | R6-15-03 | 215, 115 | 215 | 115 |
| R7-01-01  | R7-01-02 | R7-01-03 | 305, 87  | 305 | 87  |
| R7-02-01  | R7-02-02 | R7-02-03 | 305, 89  | 305 | 89  |
| R7-03-01  | R7-03-02 | R7-03-03 | 305, 91  | 305 | 91  |
| R7-04-01  | R7-04-02 | R7-04-03 | 305, 93  | 305 | 93  |
| R7-05-01  | R7-05-02 | R7-05-03 | 305, 95  | 305 | 95  |
| R7-06-01  | R7-06-02 | R7-06-03 | 305, 97  | 305 | 97  |
| R7-07-01  | R7-07-02 | R7-07-03 | 305, 99  | 305 | 99  |
| R7-08-01  | R7-08-02 | R7-08-03 | 305, 101 | 305 | 101 |
| R7-09-01  | R7-09-02 | R7-09-03 | 305, 103 | 305 | 103 |
| R7-10-01  | R7-10-02 | R7-10-03 | 305, 105 | 305 | 105 |
| R7-11-01  | R7-11-02 | R7-11-03 | 305, 107 | 305 | 107 |
| R7-12-01  | R7-12-02 | R7-12-03 | 305, 109 | 305 | 109 |
| R7-13-01  | R7-13-02 | R7-13-03 | 305, 111 | 305 | 111 |
| R7-14-01  | R7-14-02 | R7-14-03 | 305, 113 | 305 | 113 |
| PR2-01-01 | -        | -        | 315, 87  | 315 | 87  |
| PR2-02-01 | -        | -        | 315, 89  | 315 | 89  |
| PR2-03-01 | -        | -        | 315, 91  | 315 | 91  |
| PR2-04-01 | -        | -        | 315, 93  | 315 | 93  |
| PR2-05-01 | -        | -        | 315, 95  | 315 | 95  |
| PR2-06-01 | -        | -        | 315, 97  | 315 | 97  |
| PR2-07-01 | -        | -        | 315, 99  | 315 | 99  |
| PR2-08-01 | -        | -        | 315, 101 | 315 | 101 |
| PR2-09-01 | -        | -        | 315, 103 | 315 | 103 |
| PR2-10-01 | -        | -        | 315, 105 | 315 | 105 |
| PR2-11-01 | -        | -        | 315, 107 | 315 | 107 |
| PR2-12-01 | -        | -        | 315, 109 | 315 | 109 |
| PR2-13-01 | -        | -        | 315, 111 | 315 | 111 |

|           |          |          |               |      |       |
|-----------|----------|----------|---------------|------|-------|
| PR2-14-01 | -        | -        | 315, 113      | 315  | 113   |
| PR2-01-02 | -        | -        | 360, 87       | 360  | 87    |
| PR2-02-02 | -        | -        | 360, 89       | 360  | 89    |
| PR2-03-02 | -        | -        | 360, 91       | 360  | 91    |
| PR2-04-02 | -        | -        | 360, 93       | 360  | 93    |
| PR2-05-02 | -        | -        | 360, 95       | 360  | 95    |
| PR2-06-02 | -        | -        | 360, 97       | 360  | 97    |
| PR2-07-02 | -        | -        | 360, 99       | 360  | 99    |
| PR2-08-02 | -        | -        | 360, 101      | 360  | 101   |
| PR2-09-02 | -        | -        | 360, 103      | 360  | 103   |
| PR2-10-02 | -        | -        | 360, 105      | 360  | 105   |
| PR2-11-02 | -        | -        | 360, 107      | 360  | 107   |
| PR2-12-02 | -        | -        | 360, 109      | 360  | 109   |
| PR2-13-02 | -        | -        | 360, 111      | 360  | 111   |
| PR2-14-02 | -        | -        | 360, 113      | 360  | 113   |
| R8-01-01  | R8-01-02 | R8-01-03 | 28, 5, 109, 5 | 28,5 | 109,5 |
| R8-02-01  | R8-02-02 | R8-02-03 | 29, 5, 109, 5 | 29,5 | 109,5 |
| R8-03-01  | R8-03-02 | R8-03-03 | 30, 5, 109, 5 | 30,5 | 109,5 |
| R8-04-01  | R8-04-02 | R8-04-03 | 31, 5, 109, 5 | 31,5 | 109,5 |
| R8-05-01  | R8-05-02 | R8-05-03 | 32, 5, 109, 5 | 32,5 | 109,5 |
| R8-06-01  | R8-06-02 | R8-06-03 | 33, 5, 109, 5 | 33,5 | 109,5 |
| R8-07-01  | R8-07-02 | R8-07-03 | 34, 5, 109, 5 | 34,5 | 109,5 |
| R8-08-01  | R8-08-02 | R8-08-03 | 35, 5, 109, 5 | 35,5 | 109,5 |
| R8-09-01  | R8-09-02 | R8-09-03 | 36, 5, 109, 5 | 36,5 | 109,5 |
| R9-01-01  | R9-01-02 | R9-01-03 | 370, 87       | 370  | 87    |
| R9-02-01  | R9-02-02 | R9-02-03 | 370, 89       | 370  | 89    |
| R9-03-01  | R9-03-02 | R9-03-03 | 370, 91       | 370  | 91    |
| R9-04-01  | R9-04-02 | R9-04-03 | 370, 93       | 370  | 93    |
| R9-05-01  | R9-05-02 | R9-05-03 | 370, 95       | 370  | 95    |
| R9-06-01  | R9-06-02 | R9-06-03 | 370, 97       | 370  | 97    |
| R9-07-01  | R9-07-02 | R9-07-03 | 370, 99       | 370  | 99    |
| R9-08-01  | R9-08-02 | R9-08-03 | 370, 101      | 370  | 101   |
| R9-09-01  | R9-09-02 | R9-09-03 | 370, 103      | 370  | 103   |
| R9-10-01  | R9-10-02 | R9-10-03 | 370, 105      | 370  | 105   |
| R9-11-01  | R9-11-02 | R9-11-03 | 370, 107      | 370  | 107   |
| R9-12-01  | R9-12-02 | R9-12-03 | 370, 109      | 370  | 109   |
| R9-13-01  | R9-13-02 | R9-13-03 | 370, 111      | 370  | 111   |
| R9-14-01  | R9-14-02 | R9-14-03 | 370, 113      | 370  | 113   |
| R9-15-01  | R9-15-02 | R9-15-03 | 370, 115      | 370  | 115   |

**Ek 2. Depo İçindeki Kullanılmaya Uygun Olan Boş Raf Bölmeleri ve Atölyeler/Montaj Hatları Arası Uzaklıklar Matrisi**

|     | Raf Bölmesi | AK1    | AK2    | AK3    | AK4    | AK5    | MK1    | MK2    |
|-----|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| DK1 | R1-03-01    | 33,51  | 49,00  | 67,13  | 109,81 | 115,06 | 169,42 | 167,62 |
| DK1 | R1-03-02    | 33,51  | 49,00  | 67,13  | 109,81 | 115,06 | 169,42 | 167,62 |
| DK1 | R1-09-01    | 49,94  | 62,19  | 78,15  | 118,37 | 124,96 | 166,21 | 171,75 |
| DK1 | R1-10-01    | 52,68  | 64,51  | 80,12  | 119,90 | 126,70 | 165,72 | 172,53 |
| DK1 | R1-13-01    | 60,91  | 71,60  | 86,24  | 124,68 | 132,08 | 164,37 | 175,00 |
| DK1 | R1-13-02    | 60,91  | 71,60  | 86,24  | 124,68 | 132,08 | 164,37 | 175,00 |
| DK1 | R1-14-01    | 63,65  | 74,01  | 88,33  | 126,34 | 133,92 | 163,95 | 175,87 |
| DK1 | R1-14-02    | 63,65  | 74,01  | 88,33  | 126,34 | 133,92 | 163,95 | 175,87 |
| DK1 | R2-01-01    | 90,35  | 112,76 | 131,40 | 173,45 | 179,22 | 211,77 | 226,89 |
| DK1 | R2-01-02    | 90,35  | 112,76 | 131,40 | 173,45 | 179,22 | 211,77 | 226,89 |
| DK1 | R2-02-01    | 88,25  | 110,45 | 129,03 | 171,01 | 176,82 | 209,40 | 224,39 |
| DK1 | R2-02-02    | 88,25  | 110,45 | 129,03 | 171,01 | 176,82 | 209,40 | 224,39 |
| DK1 | R2-03-01    | 86,16  | 108,15 | 126,65 | 168,57 | 174,42 | 207,04 | 221,89 |
| DK1 | R3-01-01    | 38,23  | 28,21  | 38,93  | 78,58  | 84,97  | 149,91 | 136,58 |
| DK1 | R3-02-01    | 40,45  | 30,93  | 41,12  | 80,05  | 86,73  | 149,13 | 137,12 |
| DK1 | R3-03-01    | 42,71  | 33,65  | 43,36  | 81,56  | 88,53  | 148,35 | 137,70 |
| DK1 | R3-04-01    | 45,01  | 36,38  | 45,64  | 83,11  | 90,37  | 147,59 | 138,30 |
| DK1 | R3-08-01    | 54,55  | 47,30  | 55,09  | 89,73  | 98,01  | 144,66 | 141,00 |
| DK1 | R3-12-01    | 64,47  | 58,25  | 64,95  | 96,92  | 106,08 | 141,94 | 144,18 |
| DK2 | R4-08-01    | 114,44 | 87,19  | 70,06  | 52,35  | 67,33  | 111,36 | 74,26  |
| DK2 | R4-10-01    | 117,64 | 90,96  | 74,45  | 57,85  | 72,82  | 108,98 | 75,94  |
| DK2 | R4-10-02    | 117,64 | 90,96  | 74,45  | 57,85  | 72,82  | 108,98 | 75,94  |
| DK2 | R4-11-01    | 119,28 | 92,90  | 76,69  | 60,59  | 75,57  | 107,80 | 76,88  |
| DK2 | R4-11-02    | 119,28 | 92,90  | 76,69  | 60,59  | 75,57  | 107,80 | 76,88  |
| DK2 | R4-12-01    | 120,96 | 94,87  | 78,96  | 63,34  | 78,32  | 106,62 | 77,87  |
| DK2 | R5-05-01    | 82,38  | 102,38 | 120,25 | 161,59 | 167,74 | 200,70 | 214,40 |
| DK2 | R5-05-02    | 82,38  | 102,38 | 120,25 | 161,59 | 167,74 | 200,70 | 214,40 |
| DK2 | R5-06-01    | 80,87  | 99,39  | 116,78 | 157,70 | 164,06 | 197,23 | 210,15 |
| DK2 | R6-01-01    | 189,81 | 159,24 | 137,68 | 93,35  | 99,46  | 139,23 | 32,96  |
| DK2 | R6-03-01    | 191,96 | 161,53 | 140,10 | 96,26  | 102,94 | 137,13 | 31,85  |
| DK2 | R6-03-02    | 191,96 | 161,53 | 140,10 | 96,26  | 102,94 | 137,13 | 31,85  |
| DK2 | R6-04-01    | 193,07 | 162,71 | 141,35 | 97,77  | 104,74 | 136,09 | 31,49  |
| DK2 | R6-09-01    | 198,93 | 168,99 | 148,05 | 105,94 | 114,15 | 131,00 | 32,78  |
| DK2 | R6-10-01    | 200,16 | 170,32 | 149,47 | 107,69 | 116,12 | 130,01 | 33,80  |
| DK2 | R6-11-01    | 201,42 | 171,68 | 150,92 | 109,46 | 118,11 | 129,02 | 35,06  |
| DK2 | R6-12-01    | 202,69 | 173,06 | 152,40 | 111,27 | 120,12 | 128,05 | 36,55  |
| DK2 | PR1-01-01   | 123,57 | 93,81  | 73,35  | 37,62  | 51,17  | 117,11 | 50,84  |
| DK2 | PR1-01-02   | 123,57 | 93,81  | 73,35  | 37,62  | 51,17  | 117,11 | 50,84  |
| DK3 | R7-01-01    | 271,37 | 240,55 | 218,70 | 173,17 | 176,20 | 189,07 | 110,07 |
| DK3 | R7-01-02    | 271,58 | 240,78 | 218,97 | 173,50 | 176,70 | 187,83 | 109,80 |
| DK3 | R7-01-03    | 271,80 | 241,04 | 219,24 | 173,85 | 177,22 | 186,61 | 109,57 |
| DK3 | R7-04-01    | 274,29 | 243,56 | 221,79 | 176,48 | 180,01 | 187,65 | 111,64 |

|            |                  |        |        |        |        |        |        |        |
|------------|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| <b>DK3</b> | <b>R7-05-01</b>  | 275,29 | 244,59 | 222,86 | 177,63 | 181,32 | 187,21 | 112,23 |
| <b>DK3</b> | <b>R7-08-01</b>  | 277,81 | 247,14 | 225,44 | 180,30 | 184,16 | 188,28 | 114,37 |
| <b>DK3</b> | <b>R7-08-02</b>  | 278,09 | 247,46 | 225,79 | 180,74 | 184,76 | 187,11 | 114,29 |
| <b>DK3</b> | <b>R7-09-01</b>  | 279,14 | 248,55 | 226,91 | 181,96 | 186,14 | 186,71 | 115,00 |
| <b>DK3</b> | <b>R7-09-02</b>  | 279,45 | 248,90 | 227,30 | 182,45 | 186,79 | 185,57 | 115,00 |
| <b>DK3</b> | <b>R8-01-01</b>  | 79,35  | 93,34  | 109,26 | 148,92 | 155,83 | 189,52 | 200,41 |
| <b>DK3</b> | <b>R8-02-01</b>  | 78,40  | 91,96  | 107,73 | 147,26 | 154,22 | 187,96 | 198,66 |
| <b>DK3</b> | <b>R8-03-01</b>  | 77,47  | 90,58  | 106,20 | 145,60 | 152,62 | 186,39 | 196,92 |
| <b>DK3</b> | <b>R8-03-02</b>  | 77,47  | 90,58  | 106,20 | 145,60 | 152,62 | 186,39 | 196,92 |
| <b>DK3</b> | <b>R8-08-01</b>  | 77,92  | 90,10  | 105,40 | 144,54 | 151,65 | 185,52 | 195,67 |
| <b>DK3</b> | <b>R8-08-02</b>  | 77,92  | 90,10  | 105,40 | 144,54 | 151,65 | 185,52 | 195,67 |
| <b>DK3</b> | <b>R8-09-01</b>  | 78,45  | 89,66  | 104,62 | 143,48 | 150,70 | 184,66 | 194,42 |
| <b>DK3</b> | <b>R9-01-01</b>  | 343,85 | 312,96 | 291,06 | 245,32 | 247,52 | 251,18 | 182,41 |
| <b>DK3</b> | <b>R9-02-01</b>  | 344,77 | 313,90 | 292,01 | 246,31 | 248,64 | 250,97 | 183,00 |
| <b>DK3</b> | <b>R9-06-01</b>  | 348,56 | 317,77 | 295,95 | 250,43 | 253,26 | 250,29 | 185,57 |
| <b>DK3</b> | <b>R9-06-02</b>  | 348,56 | 317,77 | 295,95 | 250,43 | 253,26 | 250,29 | 185,57 |
| <b>DK3</b> | <b>R9-06-03</b>  | 348,56 | 317,77 | 295,95 | 250,43 | 253,26 | 250,29 | 185,57 |
| <b>DK3</b> | <b>R9-08-01</b>  | 350,53 | 319,79 | 298,01 | 252,59 | 255,66 | 250,03 | 187,00 |
| <b>DK3</b> | <b>R9-08-02</b>  | 350,53 | 319,79 | 298,01 | 252,59 | 255,66 | 250,03 | 187,00 |
| <b>DK3</b> | <b>PR2-08-01</b> | 132,96 | 104,51 | 85,53  | 55,49  | 69,69  | 108,38 | 54,26  |

**Ek 3. 2. Grup Raftan Montaja Dağıtım Uzaklıklar Matrisi**

| <b>Depo Kapısı</b> | <b>Raf Bölmesi</b> | <b>MK1</b> | <b>MK2</b> |
|--------------------|--------------------|------------|------------|
| <b>DK2</b>         | <b>R4-08-01</b>    | 111,36     | 74,26      |
| <b>DK2</b>         | <b>R4-10-01</b>    | 108,98     | 75,94      |
| <b>DK2</b>         | <b>R4-10-02</b>    | 108,98     | 75,94      |
| <b>DK2</b>         | <b>R4-11-01</b>    | 107,80     | 76,88      |
| <b>DK2</b>         | <b>R4-11-02</b>    | 107,80     | 76,88      |
| <b>DK2</b>         | <b>R4-12-01</b>    | 106,62     | 77,87      |
| <b>DK2</b>         | <b>R5-05-01</b>    | 200,70     | 214,40     |
| <b>DK2</b>         | <b>R5-05-02</b>    | 200,70     | 214,40     |
| <b>DK2</b>         | <b>R5-06-01</b>    | 197,23     | 210,15     |
| <b>DK2</b>         | <b>R6-01-01</b>    | 139,23     | 32,96      |
| <b>DK2</b>         | <b>R6-03-01</b>    | 137,13     | 31,85      |
| <b>DK2</b>         | <b>R6-03-02</b>    | 137,13     | 31,85      |
| <b>DK2</b>         | <b>R6-04-01</b>    | 136,09     | 31,49      |
| <b>DK2</b>         | <b>R6-09-01</b>    | 131,00     | 32,78      |
| <b>DK2</b>         | <b>R6-10-01</b>    | 130,01     | 33,80      |
| <b>DK2</b>         | <b>R6-11-01</b>    | 129,02     | 35,06      |
| <b>DK2</b>         | <b>R6-12-01</b>    | 128,05     | 36,55      |
| <b>DK2</b>         | <b>PR1-01-01</b>   | 117,11     | 50,84      |
| <b>DK2</b>         | <b>PR1-01-02</b>   | 117,11     | 50,84      |
| <b>DK3</b>         | <b>R7-01-01</b>    | 189,07     | 110,07     |
| <b>DK3</b>         | <b>R7-01-02</b>    | 187,83     | 109,80     |
| <b>DK3</b>         | <b>R7-01-03</b>    | 186,61     | 109,57     |
| <b>DK3</b>         | <b>R7-04-01</b>    | 187,65     | 111,64     |
| <b>DK3</b>         | <b>R7-05-01</b>    | 187,21     | 112,23     |
| <b>DK3</b>         | <b>R7-08-01</b>    | 188,28     | 114,37     |
| <b>DK3</b>         | <b>R7-08-02</b>    | 187,11     | 114,29     |
| <b>DK3</b>         | <b>R7-09-01</b>    | 186,71     | 115,00     |
| <b>DK3</b>         | <b>R7-09-02</b>    | 185,57     | 115,00     |
| <b>DK3</b>         | <b>R8-01-01</b>    | 189,52     | 200,41     |
| <b>DK3</b>         | <b>R8-02-01</b>    | 187,96     | 198,66     |
| <b>DK3</b>         | <b>R8-03-01</b>    | 186,39     | 196,92     |

|            |                  |        |        |
|------------|------------------|--------|--------|
| <b>DK3</b> | <b>R8-03-02</b>  | 186,39 | 196,92 |
| <b>DK3</b> | <b>R8-08-01</b>  | 185,52 | 195,67 |
| <b>DK3</b> | <b>R8-08-02</b>  | 185,52 | 195,67 |
| <b>DK3</b> | <b>R8-09-01</b>  | 184,66 | 194,42 |
| <b>DK3</b> | <b>R9-01-01</b>  | 251,18 | 182,41 |
| <b>DK3</b> | <b>R9-02-01</b>  | 250,97 | 183,00 |
| <b>DK3</b> | <b>R9-06-01</b>  | 250,29 | 185,57 |
| <b>DK3</b> | <b>R9-06-02</b>  | 250,29 | 185,57 |
| <b>DK3</b> | <b>R9-06-03</b>  | 250,29 | 185,57 |
| <b>DK3</b> | <b>R9-08-01</b>  | 250,03 | 187,00 |
| <b>DK3</b> | <b>R9-08-02</b>  | 250,03 | 187,00 |
| <b>DK3</b> | <b>PR2-08-01</b> | 108,38 | 54,26  |

**Ek 4. Taşıt Seçimi Modellerine Göre Taşıt Tiplerinin Raf Bölmelerine Dağılımı**

|          | KDT |   |     |            | KE1T |   |     |            | KE2T |   |     |            | RDT |   |     |            | RE1T |   |     |            | RE2T |   |     |            |
|----------|-----|---|-----|------------|------|---|-----|------------|------|---|-----|------------|-----|---|-----|------------|------|---|-----|------------|------|---|-----|------------|
|          | F   | T | MTA | Taşıma Yok | F    | T | MTA | Taşıma Yok | F    | T | MTA | Taşıma Yok | F   | T | MTA | Taşıma Yok | F    | T | MTA | Taşıma Yok | F    | T | MTA | Taşıma Yok |
| R1-01-02 |     |   |     | ✓          |      |   |     | ✓          |      |   |     | ✓          | ✓   |   |     | ✓          | ✓    |   |     |            | ✓    |   |     |            |
| R1-03-01 | ✓   |   |     |            | ✓    |   |     |            |      |   |     | ✓          | ✓   |   |     | ✓          | ✓    |   |     |            | ✓    |   |     |            |
| R1-03-02 | ✓   |   |     |            |      |   |     | ✓          |      |   |     | ✓          | ✓   |   |     | ✓          | ✓    |   |     |            | ✓    |   |     |            |
| R1-09-01 | ✓   |   |     |            | ✓    |   |     |            | ✓    |   |     |            | ✓   |   |     | ✓          | ✓    |   |     |            | ✓    |   |     |            |
| R1-10-01 | ✓   |   |     |            | ✓    |   |     |            |      |   |     | ✓          | ✓   |   |     | ✓          | ✓    |   |     |            | ✓    |   |     |            |
| R1-13-01 | ✓   |   |     |            |      |   | ✓   |            |      |   |     | ✓          | ✓   |   |     | ✓          | ✓    |   |     |            | ✓    |   |     |            |
| R1-13-02 |     | ✓ |     |            |      |   |     | ✓          |      |   |     | ✓          |     |   | ✓   | ✓          | ✓    |   |     |            | ✓    |   |     |            |
| R1-14-01 | ✓   |   |     |            | ✓    |   |     |            | ✓    |   |     |            | ✓   |   |     | ✓          | ✓    |   |     |            | ✓    |   |     |            |
| R1-14-02 | ✓   |   |     |            | ✓    |   |     |            | ✓    |   |     |            | ✓   |   |     | ✓          | ✓    |   |     |            | ✓    |   |     |            |
| R2-01-01 | ✓   |   |     |            | ✓    |   |     |            | ✓    |   |     |            | ✓   |   |     | ✓          | ✓    |   |     |            | ✓    |   |     |            |
| R2-01-02 | ✓   |   |     |            | ✓    |   |     |            | ✓    |   |     |            | ✓   |   |     | ✓          | ✓    |   |     |            | ✓    |   |     |            |
| R2-02-01 | ✓   |   |     |            | ✓    |   |     |            |      |   |     | ✓          | ✓   |   |     | ✓          | ✓    |   |     |            | ✓    |   |     |            |
| R2-02-02 |     | ✓ |     |            | ✓    |   |     |            |      |   |     | ✓          | ✓   |   |     | ✓          | ✓    |   |     |            | ✓    |   |     |            |
| R2-03-01 |     |   | ✓   |            | ✓    |   |     |            | ✓    |   |     |            | ✓   |   |     | ✓          | ✓    |   |     |            | ✓    |   |     |            |
| R2-04-03 |     |   |     | ✓          |      |   |     | ✓          |      |   | ✓   |            |     |   |     | ✓          |      | ✓ |     |            |      | ✓ |     |            |
| R2-05-01 |     |   |     | ✓          |      |   |     | ✓          |      |   |     | ✓          |     |   |     | ✓          | ✓    |   |     |            |      |   | ✓   |            |
| R2-06-02 |     |   |     | ✓          |      |   |     | ✓          |      |   |     | ✓          |     |   |     | ✓          |      | ✓ |     |            | ✓    |   |     |            |
| R3-01-01 | ✓   |   |     |            | ✓    |   |     |            | ✓    |   |     |            | ✓   |   |     | ✓          | ✓    |   |     |            | ✓    |   |     |            |
| R3-02-01 | ✓   |   |     |            | ✓    |   |     |            | ✓    |   |     |            | ✓   |   |     | ✓          | ✓    |   |     |            | ✓    |   |     |            |
| R3-03-01 | ✓   |   |     |            | ✓    |   |     |            | ✓    |   |     |            | ✓   |   |     | ✓          | ✓    |   |     |            | ✓    |   |     |            |
| R3-04-01 | ✓   |   |     |            |      |   | ✓   |            |      |   |     | ✓          | ✓   |   |     | ✓          | ✓    |   |     |            | ✓    |   |     |            |
| R3-08-01 | ✓   |   |     |            | ✓    |   |     |            | ✓    |   |     |            | ✓   |   |     | ✓          | ✓    |   |     |            | ✓    |   |     |            |
| R3-12-01 |     | ✓ |     |            | ✓    |   |     |            | ✓    |   |     |            |     |   | ✓   | ✓          | ✓    |   |     |            | ✓    |   |     |            |
| R4-05-02 |     |   |     | ✓          |      |   |     | ✓          |      |   | ✓   |            |     |   |     | ✓          |      | ✓ |     |            | ✓    |   |     |            |
| R4-07-03 |     |   |     | ✓          |      |   | ✓   |            | ✓    |   |     |            |     |   |     | ✓          | ✓    |   |     |            | ✓    |   |     |            |
| R4-08-01 | ✓   |   |     |            | ✓    |   |     |            | ✓    |   |     |            | ✓   |   |     | ✓          | ✓    |   |     |            | ✓    |   |     |            |
| R4-10-01 | ✓   |   |     |            | ✓    |   |     |            | ✓    |   |     |            | ✓   |   |     | ✓          | ✓    |   |     |            | ✓    |   |     |            |
| R4-10-02 | ✓   |   |     |            | ✓    |   |     |            | ✓    |   |     |            | ✓   |   |     | ✓          | ✓    |   |     |            | ✓    |   |     |            |
| R4-11-01 | ✓   |   |     |            | ✓    |   |     |            |      | ✓ |     |            | ✓   |   |     | ✓          | ✓    |   |     |            | ✓    |   |     |            |
| R4-11-02 | ✓   |   |     |            |      | ✓ |     |            | ✓    |   |     |            | ✓   |   |     |            | ✓    |   |     |            |      | ✓ |     |            |
| R4-12-01 | ✓   |   |     |            | ✓    |   |     |            | ✓    |   |     |            |     | ✓ |     | ✓          | ✓    |   |     |            | ✓    |   |     |            |
| R4-13-03 |     |   |     | ✓          |      |   |     | ✓          | ✓    |   |     |            |     |   |     | ✓          |      | ✓ |     |            | ✓    |   |     |            |
| R5-02-03 |     |   |     | ✓          |      |   |     | ✓          | ✓    |   |     |            |     |   |     | ✓          |      | ✓ |     |            | ✓    |   |     |            |
| R5-03-01 |     |   |     | ✓          |      |   |     | ✓          | ✓    |   |     |            |     |   |     | ✓          |      | ✓ |     |            |      |   | ✓   |            |
| R5-05-01 | ✓   |   |     |            |      | ✓ |     |            |      | ✓ |     |            | ✓   |   |     |            | ✓    |   |     |            | ✓    |   |     |            |
| R5-05-02 |     | ✓ |     |            | ✓    |   |     |            | ✓    |   |     |            |     | ✓ |     | ✓          | ✓    |   |     |            |      |   | ✓   |            |
| R5-06-01 | ✓   |   |     |            | ✓    |   |     |            | ✓    |   |     |            | ✓   |   |     | ✓          | ✓    |   |     |            | ✓    |   |     |            |
| R6-01-01 | ✓   |   |     |            | ✓    |   |     |            | ✓    |   |     |            |     | ✓ |     | ✓          | ✓    |   |     |            |      |   | ✓   |            |
| R6-03-01 |     |   | ✓   |            | ✓    |   |     |            | ✓    |   |     |            | ✓   |   |     | ✓          | ✓    |   |     |            | ✓    |   |     |            |

|           |   |   |   |   |   |   |   |
|-----------|---|---|---|---|---|---|---|
| R6-03-02  | ✓ | ✓ |   | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| R6-04-01  | ✓ |   | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| R6-09-01  |   | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| R6-09-03  |   | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| R6-10-01  | ✓ |   | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| R6-11-01  | ✓ | ✓ |   | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| R6-12-01  | ✓ | ✓ |   | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| R7-01-01  | ✓ | ✓ |   | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| R7-01-02  | ✓ | ✓ |   | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| R7-01-03  | ✓ | ✓ |   | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| R7-04-01  | ✓ | ✓ |   | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| R7-05-01  | ✓ |   | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| R7-08-01  | ✓ | ✓ |   | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| R7-08-02  | ✓ | ✓ |   | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| R7-09-01  |   | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| R7-09-02  | ✓ | ✓ |   | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| R8-01-01  | ✓ | ✓ |   | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| R8-02-01  | ✓ | ✓ |   | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| R8-03-01  |   | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| R8-03-02  | ✓ |   | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| R8-08-01  |   | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| R8-08-02  | ✓ | ✓ |   | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| R8-09-01  | ✓ |   | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| R9-01-01  | ✓ | ✓ |   | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| R9-02-01  | ✓ | ✓ |   | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| R9-04-03  |   | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| R9-06-01  | ✓ | ✓ |   | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| R9-06-02  |   | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| R9-06-03  |   | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| R9-08-01  | ✓ | ✓ |   | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| R9-08-02  | ✓ |   | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| PR1-01-01 |   | ✓ |   | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| PR1-01-02 | ✓ |   | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| PR1-04-02 |   | ✓ |   | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| PR1-05-01 |   | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| PR2-08-01 | ✓ | ✓ |   | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

**Ek 5. Kapıdan Dağıtım Dengeli Taşıt Modeli (KDT) Hammadde, Raf bölmesi, Taşıt Tipleri Dağılımı Tablosu**

| Model Adı:<br>KDT | H01 | H02 | H03 | H04 | H05 | H06 | H07 | H08 | H09 | İP01 | İP02 | İP03 | İP04 | İP05 | SP01 | SP02 | SP03 | SP04 | SP05 | SP06 | SARF01 | Taşıt<br>Tipi |
|-------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|---------------|
| R1-03-01          |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |        | F             |
| R1-03-02          |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |        | F             |
| R1-09-01          |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |        | F             |
| R1-10-01          |     | 1   |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F             |
| R1-13-01          |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |        | F             |
| R1-13-02          |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |      |      |        | F/T           |
| R1-14-01          |     | 1   |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F             |
| R1-14-02          |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |        | F             |
| R2-01-01          |     | 1   |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F             |
| R2-01-02          |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |        | F             |
| R2-02-01          |     | 1   |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F             |
| R2-02-02          |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 1    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F/T           |
| R2-03-01          |     |     |     |     |     |     | 1   |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | MTA           |
| R3-01-01          |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |        | F             |
| R3-02-01          |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |        | F             |
| R3-03-01          |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |        | F             |
| R3-04-01          |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |        | F             |
| R3-08-01          |     | 1   |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F             |
| R3-12-01          |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 1    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F/T           |
| R4-08-01          |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |        | F             |
| R4-10-01          |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |        | F             |
| R4-10-02          |     |     |     | 1   |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F             |
| R4-11-01          |     |     |     | 1   |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F             |
| R4-11-02          |     |     |     | 1   |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F             |
| R4-12-01          |     |     |     | 1   |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F             |
| R5-05-01          |     | 1   |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F             |
| R5-05-02          |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      | 1    |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F/T           |
| R5-06-01          |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |        | F             |
| R6-01-01          |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |        | F             |
| R6-03-01          |     |     |     |     |     | 1   |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | MTA           |
| R6-03-02          |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |      |        | F/T           |
| R6-04-01          |     |     |     | 1   |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F             |
| R6-09-01          |     | 1   |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | T/MTA         |
| R6-10-01          |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |        | F             |
| R6-11-01          |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |        | F             |
| R6-12-01          |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |        | F             |
| R7-01-01          |     |     |     | 1   |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F             |
| R7-01-02          |     |     |     |     |     |     |     | 1   |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F             |
| R7-01-03          |     |     |     | 1   |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F             |



**Ek 6.** Kapıdan Dağıtım Kısmen Esnek Taşıt Modeli (KE1T) Hammadde, Raf bölmesi, Taşıt Tipleri Dağılımı Tablosu

| Model Adı:<br>KE1T | H01 | H02 | H03 | H04 | H05 | H06 | H07 | H08 | H09 | İP01 | İP02 | İP03 | İP04 | İP05 | SP01 | SP02 | SP03 | SP04 | SP05 | SP06 | SARF01 | Taşıt<br>Tipi |
|--------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|---------------|
| R1-03-01           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |        | F             |
| R1-09-01           |     | 1   |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F             |
| R1-10-01           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |        | F             |
| R1-13-01           |     |     |     |     |     |     | 1   |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | MTA           |
| R1-14-01           |     | 1   |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F             |
| R1-14-02           |     | 1   |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F             |
| R2-01-01           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |        | F             |
| R2-01-02           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |        | F             |
| R2-02-01           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |        | F             |
| R2-02-02           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |        | F             |
| R2-03-01           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |        | F             |
| R3-01-01           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |        | F             |
| R3-02-01           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |        | F             |
| R3-03-01           |     | 1   |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F             |
| R3-08-01           |     | 1   |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F             |
| R3-12-01           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |        | F             |
| R4-07-03           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 1    |        | MTA           |
| R4-08-01           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |        | F             |
| R4-10-01           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |        | F             |
| R4-10-02           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |        | F             |
| R4-11-01           |     | 1   |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F             |
| R4-11-02           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |      |        | F/T           |
| R4-12-01           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |        | F             |
| R5-05-01           |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 1    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F/T           |
| R5-05-02           |     |     | 1   |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F             |
| R5-06-01           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |        | F             |
| R6-01-01           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |        | F             |
| R6-03-01           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |        | F             |
| R6-03-02           |     |     |     | 1   |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F             |
| R6-04-01           | 1   |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | T/MTA         |
| R6-09-01           |     |     |     |     |     | 1   |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | MTA           |
| R6-09-03           |     |     | 1   |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F             |
| R6-10-01           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      | 1    |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F/T           |
| R6-11-01           |     |     |     |     | 1   |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F             |
| R6-12-01           |     |     |     | 1   |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F             |
| R7-01-01           |     |     |     |     |     |     |     | 1   |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F             |
| R7-01-02           |     |     |     |     |     |     |     | 1   |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F             |
| R7-01-03           |     |     |     | 1   |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F             |
| R7-04-01           |     |     |     | 1   |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F             |

[illegible]

**Ek 7. Kapıdan Dağıtım Esnek Taşıt Modeli (KE2T) Hammadde, Raf bölmesi, Taşıt Tipleri Dağılımı Tablosu**

| Model Adı:<br>KE2T | H01 | H02 | H03 | H04 | H05 | H06 | H07 | H08 | H09 | İP01 | İP02 | İP03 | İP04 | İP05 | SP01 | SP02 | SP03 | SP04 | SP05 | SP06 | SARF01 | Araç<br>Tipi |
|--------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|--------------|
| R1-09-01           | 1   |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F            |
| R1-14-01           | 1   |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F            |
| R1-14-02           | 1   |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F            |
| R2-01-01           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |        | F            |
| R2-01-02           |     | 1   |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F            |
| R2-03-01           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |        | F            |
| R2-04-03           | 1   |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | T/MTA        |
| R3-01-01           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |        | F            |
| R3-02-01           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |        | F            |
| R3-03-01           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |        | F            |
| R3-08-01           |     | 1   |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F            |
| R3-12-01           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |        | F            |
| R4-05-02           |     |     |     |     |     |     | 1   |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | MTA          |
| R4-07-03           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |        | F            |
| R4-08-01           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |        | F            |
| R4-10-01           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |        | F            |
| R4-10-02           |     |     |     | 1   |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F            |
| R4-11-01           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      | 1    |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F/T          |
| R4-11-02           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |        | F            |
| R4-12-01           |     |     | 1   |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F            |
| R4-13-03           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |        | F            |
| R5-02-03           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |        | F            |
| R5-03-01           |     |     | 1   |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F            |
| R5-05-01           |     |     |     |     | 1   |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | MTA          |
| R5-05-02           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |        | F            |
| R5-06-01           |     |     | 1   |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F            |
| R6-01-01           |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 1    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F/T          |
| R6-03-01           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |      |        | F/T          |
| R6-03-02           |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 1    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F/T          |
| R6-04-01           |     |     |     | 1   |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F            |
| R6-09-01           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |        | F            |
| R6-09-03           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 1    |        | MTA          |
| R6-10-01           |     | 1   |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F            |
| R6-11-01           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |        | F            |
| R6-12-01           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |        | F            |
| R7-01-01           |     |     |     |     |     |     |     | 1   |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F            |
| R7-01-02           |     |     |     | 1   |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F            |
| R7-01-03           |     |     |     |     |     |     |     | 1   |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F            |
| R7-04-01           |     |     |     |     |     |     |     | 1   |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F            |

|           |   |   |   |   |   |       |
|-----------|---|---|---|---|---|-------|
| R7-05-01  |   | 1 |   |   |   | F     |
| R7-08-01  |   |   |   |   | 1 | MTA   |
| R7-08-02  |   |   |   |   | 1 | MTA   |
| R7-09-01  |   |   | 1 |   |   | F     |
| R7-09-02  | 1 |   |   |   |   | F     |
| R8-01-01  |   |   | 1 |   |   | F     |
| R8-02-01  | 1 |   |   |   |   | F     |
| R8-03-01  |   |   |   |   | 1 | F     |
| R8-03-02  |   |   | 1 |   |   | F     |
| R8-08-01  |   |   |   | 1 |   | T     |
| R8-08-02  |   |   |   |   | 1 | F     |
| R8-09-01  | 1 |   |   |   |   | F     |
| R9-01-01  |   |   | 1 |   |   | F     |
| R9-02-01  |   |   |   |   | 1 | F     |
| R9-04-03  | 1 |   |   |   |   | F     |
| R9-06-01  |   | 1 |   |   |   | F     |
| R9-06-02  |   | 1 |   |   |   | F     |
| R9-06-03  |   |   |   |   | 1 | MTA   |
| R9-08-01  |   |   |   | 1 |   | F/T   |
| R9-08-02  | 1 |   |   |   |   | F     |
| PR1-01-02 |   |   |   |   | 1 | T     |
| PR1-05-01 |   |   | 1 |   |   | T/MTA |
| PR2-08-01 |   |   |   |   | 1 | T     |

**Ek 8. Raftan Dağıtım Dengeli Taşıt Modeli (RDT) Hammadde, Raf bölmesi, Taşıt Tipleri Dağılımı Tablosu**

| Model Adı:<br>RDT | H01 | H02 | H03 | H04 | H05 | H06 | H07 | H08 | H09 | İP01 | İP02 | İP03 | İP04 | İP05 | SP01 | SP02 | SP03 | SP04 | SP05 | SP06 | SARF01 | Taşıt<br>Tipi |
|-------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|---------------|
| R1-03-01          | 1   |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F             |
| R1-03-02          |     |     |     | 1   |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F             |
| R1-09-01          |     |     |     | 1   |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F             |
| R1-10-01          |     |     |     | 1   |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F             |
| R1-13-01          |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |        | F             |
| R1-13-02          | 1   |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | T/MTA         |
| R1-14-01          |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |        | F             |
| R1-14-02          |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |        | F             |
| R2-01-01          |     | 1   |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F             |
| R2-01-02          |     | 1   |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F             |
| R2-02-01          |     | 1   |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F             |
| R2-02-02          |     | 1   |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F             |
| R2-03-01          |     | 1   |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F             |
| R3-01-01          |     |     |     | 1   |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F             |
| R3-02-01          |     |     |     | 1   |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F             |
| R3-03-01          |     |     |     | 1   |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F             |
| R3-04-01          |     |     | 1   |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F             |
| R3-08-01          |     |     |     | 1   |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F             |
| R3-12-01          |     |     |     |     |     |     |     | 1   |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | MTA           |
| R4-08-01          |     |     |     |     | 1   |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F             |
| R4-10-01          |     |     |     |     | 1   |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F             |
| R4-10-02          |     |     |     | 1   |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F             |
| R4-11-01          |     |     |     | 1   |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F             |
| R4-11-02          |     |     |     | 1   |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F             |
| R4-12-01          |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 1    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F/T           |
| R5-05-01          |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |        | F             |
| R5-05-02          |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      | 1    |      |      |      |      |      |      |      |      |        | T             |
| R5-06-01          |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |        | F             |
| R6-01-01          |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      | 1    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | T             |
| R6-03-01          |     |     |     |     |     |     |     | 1   |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F             |
| R6-03-02          |     |     |     |     |     |     |     | 1   |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F             |
| R6-04-01          |     |     |     |     |     |     |     | 1   |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F             |
| R6-09-01          |     |     |     |     |     |     |     | 1   |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F             |
| R6-10-01          |     |     |     |     |     |     |     | 1   |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F             |
| R6-11-01          |     |     |     |     |     |     |     | 1   |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F             |
| R6-12-01          |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      | 1    |      |      |        | MTA           |
| R7-01-01          |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |        | MTA           |
| R7-01-02          |     |     |     |     |     |     |     | 1   |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F             |
| R7-01-03          |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      | 1    |      |      |        | MTA           |

|           |   |   |   |       |
|-----------|---|---|---|-------|
| R7-04-01  |   | 1 |   | F     |
| R7-05-01  |   | 1 |   | F     |
| R7-08-01  |   | 1 |   | F     |
| R7-08-02  |   | 1 |   | F     |
| R7-09-01  |   | 1 |   | F     |
| R7-09-02  |   | 1 |   | F     |
| R8-01-01  |   | 1 |   | F     |
| R8-02-01  |   | 1 |   | F     |
| R8-03-01  |   | 1 |   | F/T   |
| R8-03-02  |   | 1 |   | F     |
| R8-08-01  |   | 1 |   | F     |
| R8-08-02  |   | 1 |   | F     |
| R8-09-01  |   | 1 |   | F     |
| R9-01-01  |   | 1 |   | F/T   |
| R9-02-01  | 1 |   |   | MTA   |
| R9-06-01  |   | 1 |   | F     |
| R9-06-02  |   | 1 |   | F     |
| R9-06-03  |   | 1 |   | F     |
| R9-08-01  |   |   | 1 | T     |
| R9-08-02  |   | 1 |   | F/T   |
| PR1-01-01 |   |   | 1 | T     |
| PR1-01-02 |   |   | 1 | T     |
| PR2-08-01 |   | 1 |   | T/MTA |

**Ek 9.** Raftan Dağıtım Kısmen Esnek Taşıt Modeli (RE1T) Hammadde, Raf bölmesi, Taşıt Tipleri Dağılımı Tablosu

| Model Adı: RE1T | H01 | H02 | H03 | H04 | H05 | H06 | H07 | H08 | H09 | İP01 | İP02 | İP03 | İP04 | İP05 | SP01 | SP02 | SP03 | SP04 | SP05 | SP06 | SAREF01 | Taşıt Tipi |
|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---------|------------|
| R1-01-02        | 1   |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |         | F          |
| R1-03-01        |     |     |     | 1   |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |         | F          |
| R1-03-02        |     |     |     | 1   |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |         | F          |
| R1-09-01        |     |     |     | 1   |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |         | F          |
| R1-10-01        |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |         | F          |
| R1-13-01        |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |         | F          |
| R1-13-02        |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |         | F          |
| R1-14-01        |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |         | F          |
| R1-14-02        |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |         | F          |
| R2-01-01        | 1   |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |         | F          |
| R2-01-02        | 1   |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |         | F          |
| R2-02-01        | 1   |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |         | F          |
| R2-02-02        | 1   |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |         | F          |
| R2-03-01        | 1   |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |         | F          |
| R2-05-01        |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |         | F          |
| R3-01-01        |     |     |     | 1   |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |         | F          |
| R3-02-01        |     |     |     | 1   |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |         | F          |
| R3-03-01        |     |     |     |     | 1   |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |         | F          |
| R3-04-01        |     |     |     |     | 1   |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |         | F          |
| R3-08-01        |     |     |     | 1   |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |         | F          |
| R3-12-01        |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |         | F          |
| R4-07-03        |     |     |     | 1   |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |         | F          |
| R4-08-01        |     |     | 1   |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |         | F          |
| R4-10-01        |     |     |     | 1   |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |         | F          |
| R4-10-02        |     |     |     | 1   |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |         | F          |
| R4-11-01        |     |     |     | 1   |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |         | F          |
| R4-11-02        |     |     |     |     |     |     | 1   |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |         | MTA        |
| R4-12-01        |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |         | F          |
| R5-05-01        |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      | 1    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |         | F/T        |
| R5-05-02        |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |         | F          |
| R5-06-01        |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |         | F          |
| R6-01-01        |     |     |     |     |     |     |     | 1   |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |         | F          |
| R6-03-01        |     |     |     |     |     |     |     | 1   |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |         | F          |
| R6-03-02        |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 1    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |         | T          |
| R6-04-01        |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |         | MTA        |
| R6-09-01        |     |     |     |     |     |     |     | 1   |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |         | F          |
| R6-09-03        |     |     |     |     |     |     |     | 1   |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |         | F          |
| R6-10-01        |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |         | MTA        |
| R6-11-01        |     |     |     |     |     |     |     | 1   |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |         | F          |
| R6-12-01        |     |     |     |     |     |     |     | 1   |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |         | F          |



**Ek 10.** *Raftan Dağıtım Esnek Taşıt Modeli (RE2T) Hammadde, Raf bölmesi, Taşıt Tipleri Dağılımı Tablosu*

| Model Adı:<br>RE2T | H01 | H02 | H03 | H04 | H05 | H06 | H07 | H08 | H09 | İP01 | İP02 | İP03 | İP04 | İP05 | SP01 | SP02 | SP03 | SP04 | SP05 | SP06 | SARF01 | Taşıt Tipi |
|--------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|------------|
| R1-01-02           | 1   |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F          |
| R1-03-01           |     |     |     | 1   |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F          |
| R1-03-02           |     |     |     | 1   |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F          |
| R1-09-01           |     |     |     | 1   |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F          |
| R1-10-01           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |        | F          |
| R1-13-01           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |        | F          |
| R1-13-02           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |        | F          |
| R1-14-01           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |        | F          |
| R1-14-02           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |        | F          |
| R2-01-01           | 1   |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F          |
| R2-01-02           | 1   |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F          |
| R2-02-01           | 1   |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F          |
| R2-02-02           | 1   |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F          |
| R2-03-01           | 1   |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F          |
| R2-04-03           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |      |        | F/T        |
| R2-05-01           |     |     |     |     |     | 1   |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | MTA        |
| R2-06-02           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |        | F          |
| R3-01-01           |     |     |     | 1   |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F          |
| R3-02-01           |     |     |     | 1   |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F          |
| R3-03-01           |     |     | 1   |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F          |
| R3-04-01           |     |     |     | 1   |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F          |
| R3-08-01           |     |     |     | 1   |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F          |
| R3-12-01           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |        | F          |
| R4-05-02           |     |     |     | 1   |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F          |
| R4-07-03           |     |     |     | 1   |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F          |
| R4-08-01           |     |     |     |     | 1   |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F          |
| R4-10-01           |     |     |     |     | 1   |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F          |
| R4-10-02           |     |     |     | 1   |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F          |
| R4-11-01           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |        | F          |
| R4-11-02           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |      |      |        | F/T        |
| R4-12-01           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |        | F          |
| R4-13-03           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |        | F          |
| R5-02-03           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |        | F          |
| R5-03-01           | 1   |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | T/MTA      |
| R5-05-01           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |        | F          |
| R5-05-02           |     |     |     |     |     |     | 1   |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | MTA        |
| R5-06-01           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |        | F          |
| R6-01-01           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |        | MTA        |
| R6-03-01           |     |     |     |     |     |     |     | 1   |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        | F          |

[illegible]

## ÖZGEÇMİŞ

**Adı Soyadı:** Şengül COŞKUN

### ÖĞRENİM DURUMU

| Öğrenim Derecesi | Öğrenim Yeri                                                                 | Öğrenim Yılı |
|------------------|------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Doktora          | Sakarya Üniversitesi / İşletme Enstitüsü / Üretim Yönetimi ve Pazarlama      | 2025         |
| Yüksek Lisans    | Sakarya Üniversitesi / İşletme Enstitüsü / Üretim Yönetimi ve Pazarlama      | 2011         |
| Lisans           | Anadolu Üniversitesi / AÖF / İşletme                                         | 2007         |
| Ön Lisans        | Sakarya Üniversitesi / Hendek Meslek Yüksek Okulu / Bilgisayar Programcılığı | 2001         |
| Lise             | Adapazarı Anadolu Kız Meslek Lisesi / Bilgisayar                             | 1999         |

### İŞ DENEYİMİ

| Yıl       | Yer                                          | Görev               |
|-----------|----------------------------------------------|---------------------|
| 2006-2023 | Federal Elektrik                             | Ü.Planlama Uzmanı   |
| 2004-2005 | Özel Destek Bilgisayar ve İngilizce Eğt.Mrk. | Bilgisayar Eğitmeni |
| 2003-2004 | Özel Bildil Eğt.Mrk.                         | Bilgisayar Eğitmeni |
| 2002-2003 | Özel Soyhan Bilgisayar ve İngilizce Eğt.Mrk. | Bilgisayar Eğitmeni |

### YABANCI DİL

İngilizce

### ESERLER

Coşkun, Ş., (2025). Simulation-Based Optimization In Production And Inventory Management: The Impact Of Uncertainties, Failures And Customer Demand. *Advances In Industrial Engineering and Management*, 14(1), 1-10. <http://doi.org/10.7508 /aiem.01.2025.01.10>

- Coşkun, Ş., (2024). Rota planlama problemlerinde kullanılan deterministik yöntemlerin bibliyometrik analizi. *Journal of Business Administration and Social Studies*, 8(2), 144-159. <http://doi.org/10.5152/JBASS.2024.24007>
- Coşkun, Ş., Yılmaz, K., Taşkın. K., (2024). Creating Alternative Routes in the Domestic Logistics Process According to Competition Priorities. 3. *Sektör Sosyal Ekonomi Dergisi*, 59(2), 962-976. <http://doi.org/10.15659/3.sektor-sosyal-ekonomi.24.06.2367>
- Coşkun, Ş., Yılmaz, K., Turanlı, M., (2024). Katılım Bankalarında Toplanan ve Kullandırılan Fonların Sektör Paylarıyla İlişkisi ve Makroekonomik Göstergelerin Etkisi. *Journal of Islamic Research*, 35(2), 240-253. <http://doi.org/10.62862/isar.2024-102381>
- Coşkun, Ş., (2024). Optimizing Internal Logistics in Manufacturing Facilities: Analyzing Alternative Transportation Routes for Cost-Effective and Flexible Solutions, 11 December 2024, *Preprint (Version 1) available at Research Square*. <http://doi.org/10.21203/rs.3.rs-5625227/v1>
- Coşkun, Ş., (2024). Bibliometric Analysis of Research Conducted Between 2000-2024 in the Field of Systems Theory: Conceptual Foundations, 12 December 2024, *Preprint (Version 1) available at Research Square*. <http://doi.org/10.21203/rs.3.rs-5623017/v1>
- Coşkun, Ş., Serhateri, A. ve Coşkun, E. (2009). Perceptions of Employees from Different Departments on Customer Relationship Management. *III. İstanbul Bilişim Kongresi Yönetişim|Bildiri Kitabı* içinde (ss. 57-62). Türkiye Bilişim Derneği İstanbul Şubesi.